

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет біотехнології і біотехніки  
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Кузьмінський Є.В.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 162 Біотехнології та біоінженерія,  
(код і назва)

на тему: Технологія отримання біодизеля на основі ліпідів міцеліальних  
грибів.

Виконала: студентка 6 курсу, групи БЕ-71мп

\_\_\_\_\_ Сазанська Таїсія Ігорівна

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ доцент Козар Марина Юріївна

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант Розділ 5. Автоматизація \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (підпис)

Розділ 6. Економічна частина \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет біотехнології і біотехніки  
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 162 Біотехнології та біоінженерія,

спеціалізація «екологічна біотехнологія та біоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Кузьмінський Є.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Сазанській Таїсії Ігорівні**

1. Тема дисертації «Технологія отримання біодизеля на основі ліпідів міцеліальних грибів»,

науковий керівник дисертації доцент, к.т.н. Козар Марина Юріївна,

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження: технологія виготовлення біодизеля.

4. Предмет дослідження: міцеліальні гриби, як джерело ліпідів для виготовлення біодизеля.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1) Провести літературний пошук з підбору оптимального продуцента ліпідів та охарактеризувати біодизель отриманий на основі ліпідів міцеліальних грибів.

2) Обрати та обґрунтувати технологію виготовлення біодизеля; розробити технологічну та апаратурну схеми виробництва біодизеля з ліпідів міцеліальних грибів;

3) Здійснити технологічний розрахунок та запроектувати ферментер з системою автоматизації процесу культивування міцеліальних грибів;

4) Надати техніко-економічне обґрунтування технології та розрахувати собівартість продукції;

5) Надати основні вимоги охорони праці та захисту навколишнього середовища при виробництві біодизеля.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: Апаратурна схема – А1, Технологічна схема – А1, Ферментер для культивування міцеліальних грибів. Загальний вид – А1, Схема автоматизації ферментера для вирощування міцеліальних грибів – А1, Техніко-економічні показники підприємства – А1.

7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 5. Автоматизація	Мельник Вікторія Миколаївна завідувач кафедри, доктор технічних наук, професор		
Розділ 6. Економічна частина	Ткаченко Тетяна Петрівна доцент, кандидат економічних наук		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд літератури, вибір технології.		
2.	Підбір оптимального продуцента серед представників міцеліальних грибів.		
3.	Розробка технологічної та апаратурної схеми.		
4.	Розрахунок та вибір ферментера для культивування міцеліальних грибів.		
5.	Розробка креслення ферментера.		
6.	Розробка системи автоматизації процесу культивування міцеліальних грибів в ферментері.		
7.	Розрахунок економічної ефективності технології та собівартості продукції.		
8.	Огляд техніки безпеки та охорони навколишнього середовища при виробництві біодизеля.		
9.	Оформлення пояснювальної записки.		

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

## Реферат

Магістерська дисертація містить 5 креслень, 79 аркушів, 13 рисунків, 17 таблиць та 38 літературних джерел.

Розроблено проект технології отримання біодизеля на основі ліпідів міцеліальних грибів. Підібрано та охарактеризовано мікроорганізм-продуцент *Cunninghamella japonica* та проаналізовано готовий продукт на відповідність європейському стандарту. Обрано та наведено оптимальну технологію отримання ліпідів міцеліальних грибів у комплексі з низькотемпературною технологією виробництва біодизеля. Розраховано та запроєктовано ферментер системою автоматизації процесу культивування міцеліальних грибів. Наведено техніко-економічну доцільність технології та розраховано собівартість продукції. Надано основні положення охорони праці та збереження довкілля на виробництві біодизеля.

МІЦЕЛІАЛЬНІ ГРИБИ, CUNNINGHAMELLA JAPONICA, ЛІПІДИ,  
БІОДИЗЕЛЬ, ПЕРЕЕСТЕРИФІКАЦІЯ, НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНА  
ТЕХНОЛОГІЯ.

## Abstract

The master's dissertation contains 5 drawings, 79 sheets, 13 drawings, 17 tables and 38 literary sources.

Technology of biodiesel production from lipids of micellar fungi has been developed. *Cunninghamella japonica* has been selected and characterized as producer. The finished product has been analyzed for compliance with the European standard. The optimal technology for obtaining lipids of micellar fungi in combination with low-temperature technology of biodiesel production has been presented. Fermentation equipment has been designed with the automation system. Economical feasibility of technology has been given and production cost has been calculated. Principal rules for safety and environmental protection during the production of biodiesel fuel have been listed.

MICELLAR FUNGI, CUNNINGHAMELLA JAPONICA, LIPIDS, BIODIESEL, REESTERIFICATION, LOW-TEMPERATURE TECHNOLOGY.

## Зміст

Вступ .....	8
Розділ 1. Характеристика міцеліальних грибів як продуцентів ліпідів для отримання біодизеля.....	10
1.1 Вибір найбільш активного продуцента .....	12
1.2 Характеристика <i>Cunninghamella japonica</i> як мікробного агента .....	15
Розділ 2. Характеристика кінцевого продукту - біодизельного палива.....	18
2.1 Основні характеристики біодизеля на основі ліпідів <i>C. japonica</i> .....	22
Розділ 3. Обґрунтування вибору технології виробництва .....	24
3.1 Вплив параметрів культивування на утворення та склад ліпідів міцеліальних грибів .....	24
3.2 Опис технології виробництва .....	28
Розділ 4. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апарату .....	35
4.1 Параметричний розрахунок ферментера .....	35
4.1.1 Визначення конструктивних параметрів апарату.....	35
4.1.2 Розрахунок геометричних розмірів мішалки.....	36
4.2 Розрахунок геометричних розмірів барботера .....	37
4.3 Розрахунок потужності, що витрачається на перемішування.....	39
4.4 Розрахунок коефіцієнта масопереносу при механічному диспергуванні газу в рідині .....	42
4.5 Розрахунок необхідної кількості кисню для забезпечення заданої продуктивності ферментера.....	45
4.6 Матеріальний баланс .....	46
Розділ 5. Автоматизація .....	47
5.1 Автоматичний контроль .....	48
5.2 Автоматичне регулювання .....	49
5.3 Сигналізація, блокування, захист.....	50
5.4 Дистанційне керування.....	51

5.5 Специфікація устаткування, виробів і матеріалів .....	52
5.6 Висновок .....	52
Розділ 6. Економічна частина .....	53
6.1 Техніко-економічне обґрунтування .....	53
6.2 Розрахунок ефективності фонду робочого часу .....	54
6.3 Розрахунок та побудова графіка технічного обслуговування і ремонту обладнання.....	55
6.4 Розрахунок виробничої потужності.....	57
6.5 Розрахунок собівартості продукту і вартості проекту .....	58
6.5.1 Розрахунок амортизаційних витрат та вартості основних фондів ....	58
6.5.2 Розрахунок витрат на сировини, матеріалів та електроенергії .....	59
6.5.3 Розрахунок заробітної плати та експлуатаційних витрат .....	60
6.5.4 Розрахунок собівартості продукції .....	61
6.6 Розрахунок ефективності виробництва .....	62
Розділ 7. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	63
7.1 Рівень шуму та вібрацій.....	64
7.2 Повітря робочої зони .....	65
7.3 Електробезпека.....	66
7.4 Пожежна безпека .....	68
7.5 Рекомендації з техніки безпеки .....	70
7.6 Охорона навколишнього середовища.....	71
Висновки .....	72
Список використаної літератури .....	74
Додаток А .....	78

## Вступ

Міцеліальні гриби широко поширені в природі, і на даний час вважається, що число їх видів досягає одного мільйона. Гриби це гетерогенна по фізіолого-біохімічними властивостями група, що подібна як до рослин, так і до тварин. Особливий інтерес представляють ліпіди грибів, які контролюють найбільш важливі функції клітин: утворюють напівпроникну мембрану, є матриксом для білків, беруть участь в генеруванні енергії, передачі сигналів, забезпечують транспорт речовин і реплікацію ДНК, регулюють активність ферментів. Крім виконання цих функцій ліпіди служать одним з головних енергетичних ресурсів клітини, що змушує вивчати олеагенні штами грибів з метою отримання біодизельного палива – суміш моноалкільних ефірів жирних кислот. Актуальність даної проблеми підтверджується як виснаженням запасів горючих копалин, так і впливом спалювання різних видів палив на екологічний стан навколишнього середовища.

На даний час розроблені способи отримання біодизельного палива з різних видів олійних рослин, наприклад, ріпаку, розробляються підходи до використання мікроводоростей та інших мікроорганізмів. Але кожен з пропонованих продуцентів для одержання біодизеля має свої недоліки. Так, вирощування олійних культур сезонне та використовує великі обсяги посівних площ, що призводить до підвищення цін на продовольство і забруднення орних земель пестицидами, вирощування водоростей вимагає ферментерів складної конструкції та склад ліпідів водоростей не в повній мірі задовольняє вимогам міжнародних стандартів щодо жирнокислотного складу організмів-продуцентів.

Метою магістерської дисертації є розробка технології отримання біодизеля з ліпідів міцеліальних грибів.

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

1. Провести літературний пошук з підбору оптимального продуцента ліпідів та охарактеризувати біодизель отриманий на основі ліпідів міцеліальних грибів.
2. Обрати та обґрунтувати технологію виготовлення біодизеля; розробити технологічну та апаратурну схеми виробництва біодизеля з ліпідів міцеліальних грибів;
3. Здійснити технологічний розрахунок та запроектувати ферментер з системою автоматизації процесу культивування міцеліальних грибів;
4. Надати техніко-економічне обґрунтування технології та розрахувати собівартість продукції;
5. Надати основні вимоги охорони праці та захисту навколишнього середовища при виробництві біодизеля.

					<i>БЕ71мп.065152.007 МД</i>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розділ 1. Характеристика міцеліальних грибів як продуцентів ліпідів для отримання біодизеля

За складом ліпіди міцеліальних грибів є гетерогенною групою. Вміст ліпідів в клітинах грибів і склад жирних кислот залежить від таксономічного положення продуцента, його стадії розвитку, умов культивування [2], і може досягати до 86% від сухої маси [3]. Основними компонентами ліпідної фракції грибів є триацилгліцериди, що особливо важливі при виробництві біодизеля. Міцеліальні гриби можуть синтезувати насичені і ненасичені жирні кислоти з довжиною ланцюга від 10 до 24 вуглецевих атомів.

Переважаючими жирними кислотами у більшості видів є пальмітинова  $C_{16:0}$ , олеїнова  $C_{18:1}$  та лінолева  $C_{18:2}$ . Ліпідний склад нижчих міцеліальних грибів незначно відрізняється від олійних культур, що традиційно використовуються для виробництва біодизеля.

Крім високого вмісту ліпідів важливим фактором є здатність грибів до спрямованого росту, швидкість якого може досягати 100 мкм/хв. Спрямований ріст і можливість перерозподілу енергії між старіючим і зростаючими ділянками міцелію визначають найвищу швидкість накопичення біомаси серед відомих організмів. Такий параметр як продуктивність (кількість ліпідів з одиниці об'єму середовища за добу) у олеагенних (видів, здатних накопичувати ліпіди більше 20% від сухої ваги) грибів вище, ніж у водоростей і бактерій [4].

Змінюючи такі параметри як температуру, співвідношення карбону до нітрогену в середовищі, можна варіювати будову ацильних ланцюгів ліпідів. Так, низьке співвідношення C: N сприяє накопиченню ліпідів, а у ряду грибів призводить до переважного синтезу ненасичених жирних кислот (ЖК).

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відсутність в середовищі факторів росту (вітамінів, деяких амінокислот) сприяє зменшенню вмісту ліпідів.

Можливість культивування біомаси в ферментерах дозволяє масштабувати процес, і позбавляє від необхідності використання потенційно родючих земель. Міцеліальні гриби можуть слугувати гарною альтернативою рапсу, адже ліпіди грибів майже не відрізняються за складом основних жирних кислот від ліпідів вищих рослин. Важливо і те, що вихід продукту мало залежить від погодних та інших випадкових факторів. Можливість культивування біомаси в звичайних ферментерах, на відміну від водоростей, значно здешевлює процес. Також, для зменшення вартості вихідного продукту в якості компонентів живильного середовища можливе використання виробничих відходів, а також отримання побічних продуктів: полісахаридів - хітину, хітин-глюканового комплексу, хітозану та гліцерину [5]. Важливою відмінністю від культивування водоростей є розроблені для грибів підходи до зберігання посівного матеріалу і виведення його зі стану спокою.

Отже, у порівнянні з рапсом та водоростями, як джерелами ліпідів для виготовлення біодизельного палива, міцеліальні гриби мають ряд переваг:

- міцеліальні гриби володіють однією з найбільших швидкостей накопичення біомаси;
- вихід продукту не залежить від сезонних коливань температури і величини посівних площ, що дозволяє цілорічне отримання продукту;
- процес культивування грибів краще відпрацьований з біотехнологічної точки зору, ніж вирощування водоростей та зможе забезпечити більші масштаби, ніж вирощування рослин;
- вихід продукту не залежить від сезонних коливань температури і величини посівних площ - можливо цілорічне отримання продукту.

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

## 1.1 Вибір найбільш активного продуцента

Всього було проаналізовано 10 штамів, що відносяться до 3 класів міцеліальних грибів: *Zygomycetes*, *Ascomycetes*, *Basidiomycetes* (табл. 1). З наведених результатів видно, що представники мукових грибів, зокрема сімейство *Cunninghamellaceae*, на відміну від представників вищих грибів були здатні накопичувати значні кількості ліпідів - 43,0-50,7% від сухої біомаси, а максимальний вихід ліпідів склав 5,3 г/дм<sup>3</sup> у *C. japonica* ВКМ F-1204(-). Незважаючи на те, що представники аскоміцетів мають активний ріст (до 15,3 г/дм<sup>3</sup>), представленні штами мають невисоку здатність до утворення ліпідів (до 22,78%). Хоча багато аскоміцетних грибів давно і широко застосовуються в біотехнології, багато їх представників мають феномен вторинного росту, в результаті якого синтезовані ліпіди повторно використовуються для підтримки ростових процесів, що обмежує застосування аскоміцетних грибів для отримання ліпідів як кінцевого продукту [1].

Таблиця 1. Розглянуті штами міцеліальних грибів та їх здатність до ліпідотворення [1].

Організм	Біомаса, г/дм <sup>3</sup>	Ліпіди	
		% від сухої маси	г/дм <sup>3</sup>
Zygomycetes			
Absidia caeruelea ВКМ F-858(+)	6,2	12,8	0,79
Cunninghamella echinulata ВКМ F-470(-)	7,1	43,0	3,05
C. echinulata ВКМ F-626(-)	6,9	47,1	3,23
C. japonica ВКМ F-1204(-)	10,5	50,7	5,32
Ascomycetes			
Aspergillius niger ВКМ F-33	10,0	11,2	1,12
A. japonicas ВКМ F-2632D	8,6	13,5	1,16
Penicillium chrysogenum МГУ	15,3	5,3	0,81
P. lanosum ВКМ F-297	7,0	22,8	1,56
Basidiomycetes			
Lenthinus tigrinus ВКМ F-160	2,3	9,8	0,23
Pleurotus ostreatus ИНМИ	3,4	5,0	0,17

З таблиці 1 видно, що серед трьох класів міцеліальних грибів найбільш продуктивними за комплексом показників – накопиченням біомаси та кількістю ліпідів у сухому міцелію – лідером є клас *Zygomycetes*. Саме представники цього класу можуть бути розглянуті в якості продуцента ліпідів з метою отримання біодизельного палива.

Наступним етапом підбору продуцента був огляд літературних даних з накопичення біомаси і ліпідоутворення, а також якісного і кількісного складу ЖК кількох штамів *C. japonica* та споріднених видів. На 5-у добу культивування для всіх досліджуваних штамів (табл. 2) величина накопиченої біомаси на середовищі Гудвіна перевищувала 14 г/дм<sup>3</sup>, при цьому найбільша величина (19,16 г/дм<sup>3</sup>) відзначена для штаму F-1204 (-). Всі штами характеризувалися високою ліпогенною активністю, і вміст ліпідів знаходився в межах 37-47% [1].

Таблиця 2. Накопичення біомаси та здатність до ліпідоутворення штамів *Cunninghamella* (середовище Гудвіна, 5 діб) [1].

Штамм	Біомаса, г/дм <sup>3</sup>	Ліпіди	
		% від сухої маси	г/д
<b><i>C. japonica</i> ВКМ F-1204(-)</b>	<b>19,16</b>	<b>42,37</b>	<b>8,12</b>
<i>C. echinulata</i> ВКМ F-626(-)	16,44	41,92	6,89
<i>C. echinulata</i> ВКМ F-657(-)	14,15	47,73	6,75
<i>C. homotallica</i> ВКМ F-930	20,49	44,08	9,03
<i>C. echinulata</i> ВКМ F-470(-)	15,54	44,23	6,87
<i>C. echinulata</i> ВКМ F-471(+)	15,44	40,58	6,26
<i>C. echinulata</i> ВКМ F-775(-)	18,35	43,21	7,93
<i>C. echinulata</i> ВКМ F-776(-)	16,02	37,82	6,06

У складі ЖК ліпідів досліджуваних штамів р. *Cunninghamella* (табл. 3) були присутні насичені і ненасичені ЖК з парним числом атомів вуглецю від C<sub>14</sub> до C<sub>24</sub>, з переважанням пальмітинової (C<sub>16:0</sub>), олеїнової (C<sub>18:1</sub>), лінолевої (C<sub>18:2</sub>) та ліноленової (C<sub>18:3</sub>) жирних кислот. Кількість олеїнової кислоти досягає високого рівня – 41-51%. Пальмітинова кислота становить 15-25%, на трохи

нижчому рівні знаходиться вміст ліноленової кислоти - 10-20%. Всі розглянуті штами синтезують в значній кількості і ліноленову кислоту - 7-15%.

Таблиця 3. Склад жирних кислот досліджених штамів *Cunninghamella* [1].

ЖК	F-1204 (-)	F-626 (-)	F-657 (-)	F-470 (-)	F-471 (+)	F-776 (-)	F-775 (+)	F-930
C 16:0	<b>16,0</b>	<b>20,2</b>	<b>16,6</b>	<b>24,4</b>	<b>17,2</b>	<b>22,4</b>	<b>14,8</b>	19,9
C 18:0	7,8	5,4	5,5	14,2	4,6	8,3	3,4	8,2
C 18:1	<b>51,0</b>	<b>41,3</b>	<b>43,6</b>	<b>42,8</b>	<b>44,9</b>	<b>45,0</b>	<b>42,4</b>	44,7
C 18:2	<b>14,4</b>	<b>19,0</b>	<b>16,3</b>	<b>10,1</b>	<b>17,1</b>	<b>14,7</b>	<b>19,8</b>	14,9
C 18:3	8,3	10,4	15,3	7,0	15,0	7,6	17,4	9,7
Інші ЖК	1,9	3,7	2,7	1,6	1,2	2,0	2,3	2,6
СН	0,96	1,00	1,07	0,77	1,09	0,90	1,17	<b>1,04</b>

Згідно таблиці 3 видно, що всі розглянуті штами мають високу ліпогенну активність з вмістом ліпідів в клітинах близько 50%: сумарний вміст ненасичених жирних кислот досягає 61-82%, а ступінь ненасиченості становить 0,77-1,17 [1].

## 1.2 Характеристика *Cunninghamella japonica* як мікробного агента

Гриби роду *Cunninghamella* відносяться до нижчих міцеліальних грибів з класу *Zygomycetes*. Представники даного роду - сапрофіти, частіше зустрічаються в середземноморських та субтропічних зонах.

Представники роду розвиваються в ґрунті, на плодах, насінні рослин, гниючих субстратах рослинного походження, деякі види можуть бути оппортуністичними [6].

Головною морфологічною особливістю роду *Cunninghamella*, що відрізняє їх від інших представників порядку *Mucorales* є наявність моноспорового спорангія. Особливістю спори є наявність двошарової стінки, що робить цей рід подібним до вищих грибів [7].

Варто відзначити також особливе значення цих грибів у біотехнології, особливо при отриманні ізопреноїдних сполук, наприклад, убіхінонів.

Основним продуцентом в технології виготовлення біодизеля з ліпідів міцеліальних грибів було обрано представника нижчих грибів *Cunninghamella japonica*.

### Таксономічне положення об'єкта:

Царство: *Fungi*;

Клас: *Zygomycetes*;

Порядок: *Mucorales*;

Сімейство: *Cunninghamellaceae*;

Рід: *Cunninghamella*;

Вид: *Cunninghamella japonica* (сучасна назва *Cunninghamella echinulata*).

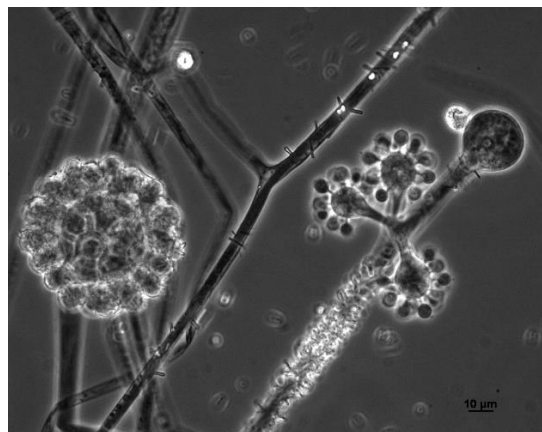


Рисунок 1. *Cunninghamella echinulata*.

*Cunninghamella japonica* – безстатевий гриб та мезофіл, що віддає перевагу проміжним температурним діапазонам. *C. japonica* використовується у біотехнологічній промисловості за його здатність синтезувати  $\gamma$ -ліноленову кислоту, а також здатність до біоконцентрування металів. Цей вид є сапротрофом

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

грунту, який утворює ризоїди, віддаючи перевагу ґрунтам, збагаченим азотом, фосфором і калієм.

Цей вид тісно пов'язаний з *C. elegans*, адже обидва види мають дуже подібні характеристики росту та морфології. Колонії, як правило, швидко ростуть на більшості середовищ та утворюють щільний білий або сіруватий повітряний міцелій. *Cunninghamella japonica* відтворюється безперервно та виключно за допомогою жовто-коричневих, колючих спор, які, завдяки природі спорангіоспору, що зберігаються в спорангіях, мають двошарову зовнішню стінку. Цей грибок росте за допомогою ниток, які не мають септи. Це загальна риса представників *Mucormycota*, у яких гіфальні відділення повністю розділені септою або повністю неперервні та багатоядерні. Зигоспори цього гриба виробляються тільки після злиття гаметангій сумісних штамів, що є прикладом гетероталічної системи спарювання. Спорангіофори цього виду нерівномірно розгалужені і не схожі на спорангіоспори, характерні для більшості інших членів *Mucormycota*, що зустрічаються в подібних місцях існування.

*Cunninghamella japonica* та інші види *Cunninghamellaceae* можна вибірково вирощувати на агаризованому середовищі Чапека [15]. Однак в залежності від поживних речовин, до яких додається агар, можуть змінювати окисно-метаболічний профіль цього гриба.

Хоча цей гриб є мезофільним (переважно проміжні температури росту), він здатний виростати між 6°C і 45°C, хоча швидкість росту біля крайніх температур є мінімальною [18, 19]. Оптимальна температура для розвитку зигоспор становить від 25°C до 35°C [19]. Цей вид виявляє різний характер росту в залежності від впливу навколишнього середовища. При pH=5,5, грибок росте у невеликих щільних гранулах, але більш типовий, нитчастий ріст досягається при pH=8,0 [20]. Присутність індол-3-оцтової кислоти в середовищі стимулює лінійний ріст [19].

Цей грибок був досліджений для використання у виробництві запасаючих ліпідів (наприклад,  $\gamma$ -ліноленова кислота). Для досягнення найбільшого виходу продукту, *Cunninghamella japonica* необхідно вирощувати на виснажених за концентрацією азоту середовищах з молярним співвідношенням C/N = 169 [16].

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



*C. japonica* також здатний вибірково приймати і вилучати металеві забруднювачі з забруднених вод, що передбачає потенційне використання в біоремедіації забрудненої води. Проте його роль як агента може бути обмеженим опортуністичною характеристикою. Наявність активної системи монооксигенази дозволяє цьому виду виконувати окислювальне деметилювання та гідроксилування [19]. Гриб володіє цитохромною системою р450, подібною до того, що існує в організмі людини, що робить його потенційно корисною моделлю для дослідження обміну речовин у печінці [20].

Також, даний вид має антибактеріальний ефект проти *Staphylococcus aureus* та *Salmonella typhus*, розповсюджених агентів шкірних інфекцій та харчового отруєння, відповідно [19]. *C. japonica* не виробляє мікотоксинів.

Захворювання, спричинені цим грибом та іншими видами *Mucorales*, називають мукомікозом, що характеризується швидко-прогресуючою та деструктивно-інвазивною хворобою з відносно низьким виживанням. Однак цей вид вважається виключно опортуністичним патогеном, що інфікує людей з погіршеним станом здоров'я. Люди з хворобами, такими як ВІЛ-інфекція та діабет, мають підвищений ризик розвитку мукомікозу. Вважається, що інфікування *C. japonica* виникає при вдиханні грибкових спор і не є інфекційними [18].

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

## Розділ 2. Характеристика кінцевого продукту - біодизельного палива

Біодизельне паливо (біодизель) являє собою суміш моноалкільних (найчастіше метилових або етилових) ефірів жирних кислот, отриманих при переестерифікації поновлюваних біологічних ресурсів [8].

Основними компонентами рослинних і тваринних жирів є тріацилгліцериди (ТАГ) (до 80%). При отриманні біодизельного палива відбувається реакція переестерифікації ТАГ зі спиртом в присутності каталізатора. В результаті з однієї молекули ТАГ утворюються три молекули складних ефірів жирних кислот і одна молекула гліцерину (рис.2).

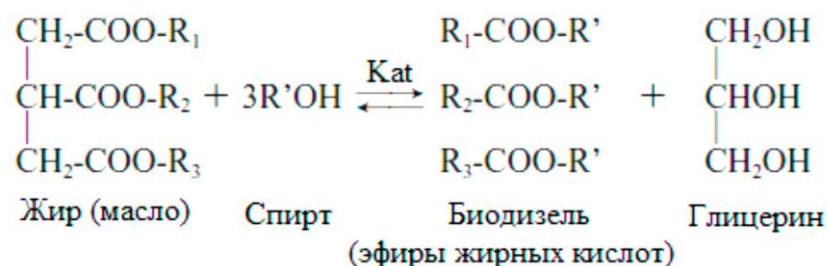


Рисунок 2. Реакція переестерифікації [1].

Реакція протікає поетапно: спочатку тригліцериди послідовно перетворюються в ди-, моногліцериди, і, в результаті, в гліцерин. Процес проводиться при нагріванні і атмосферному тиску. Параметри протікання реакції залежать від складу вихідної сировини. Масовий вихід метилових ефірів, тобто біодизеля, перевищує 98%. В якості каталізаторів реакції застосовуються кислоти, луги, останнім часом велика увага приділяється використанню ліпаз, в тому числі грибного походження [1].

Побічним продуктом при виробництві біодизеля є гліцерин, який після очищення може використовуватися в парфумерії, медицині, при мікробіологічному синтезі етанолу, бурштинової кислоти та 1,3-пропандіолу [9].

Також розробляються методи отримання з гліцерину бутанолу та пропіонової кислоти.

Гліцерин може використовуватися дріжджеподібним організмом *Cryptococcus curvatus* і представниками роду *Mortierella* в якості субстрату для зростання і накопичення ліпідів. Що особливо важливо, представники роду *Mortierella*, зокрема *M. alpina*, використовуються при виробництві арахідонової кислоти C<sub>20:4</sub> в промислових масштабах, що відноситься до розряду незамінних і входить до складу вітаміну F.

Головними етапами виробництва біодизеля є: отримання суміші ліпідів, очищення, підготовка каталізатора, переестерифікація, очищення і стабілізація, відгонка етанолу, складування готового продукту [10].

Для отримання якісного продукту необхідно витримати ряд вимог:

1. Після проходження реакції переестерифікації вміст етилових ефірів має бути вище 96%.
2. Для швидкої і повної переестерифікації етанол береться з надлишком, тому етилові ефіри необхідно очистити від нього.
3. Не використовувати етилові ефіри як паливо для дизельної техніки без попереднього очищення від продуктів омилення. Мило засмічує фільтр і утворює нагар, смоли в камері згоряння. Для очищення необхідна вода або сорбент.
4. Заключний етап - сушка метилових ефірів жирних кислот. Так як вода призводить до розвитку мікроорганізмів в біодизелі і сприяє утворенню вільних жирних кислот, що викликають корозію металевих деталей [11].

Біодизельне паливо має низку переваг у порівнянні з мінеральним дизельним паливом [12]:

- Біодизель, як і будь-яке біопаливо, є поновлюваним джерелом енергії, на відміну від нафти, запаси якої вичерпні, як і запаси інших викопних палив.
- Біодизель має більш високу в порівнянні з викопними паливами температуру займання, що робить його порівняно безпечним паливом.

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

– Воно не має токсичної дії на навколишнє середовище і легко розкладається в природних умовах. Так при попаданні в ґрунт або воду за 28 днів під дією мікроорганізмів відбувається розкладання 99% біодизеля.

– У складі вихлопних газів викопного палива міститься більше 300 сполук, що завдають шкоди навколишньому середовищу [13]. До них відносяться вуглеводні різного складу, моно- і діоксид вуглецю, оксиди азоту, сірчаний і сірчистий ангідриди. Біодизель у порівнянні зі звичайним дизельним паливом характеризується значно меншим вмістом моно- і діоксиду вуглецю, поліциклічних ароматичних вуглеводнів, аерозолі у вихлопі. Також біодизельне паливо відрізняється значно меншим вмістом сірки (0,0001%), що не тільки забезпечує меншу частку токсичних речовин у вихлопі, але також дозволяє під час роботи двигуна забезпечувати змащування рухомих частин, тим самим, продовжуючи термін служби двигуна [14]. Також зменшення вмісту шкідливих речовин відбувається за рахунок більшого процентного вмісту кисню, а, значить, і більш повного згоряння палива.

– Побічний продукт виробництва - гліцерин, який має широке застосування в промисловості. Очищений гліцерин використовують для виробництва технічних миючих засобів (наприклад, мила). Після глибокого очищення отримують фармакологічний гліцерин, тонна якого на ринку коштує близько 1 тис. євро. При додаванні фосфорної кислоти до гліцерину можна отримати фосфорні добрива.

Недоліки:

– Висока в'язкість і поверхневий натяг біодизельного палива в порівнянні з дизельним паливом можуть призводити до утворення більших за розмірами крапель, що може служити причиною проблем пов'язаних з системою впорскування палива. При етерифікації з використанням спиртів з малою довжиною вуглецевого ланцюга утворюється біодизель з в'язкістю близькою до звичайного дизельного палива.

– Окислювальна стійкість є однією з головних проблем біодизельного палива. У порівнянні з дизелем біодизельне паливо більш схильне до окислення. Окислювальна стійкість залежить від ряду факторів: присутності повітря, тепла,

					БЕ 71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

металів, пероксидів, світла. Також цей параметр корелює зі ступенем насиченості вуглеводневого ланцюга, а, отже, і з таким параметром, як йодне число.

– Біодизельне паливо має меншу температуру кристалізації в порівнянні з дизельним паливом, що може призводити замерзання палива, і необхідності підігріву палива, що надходить в паливний насос [1].

					<i>БЕ71мп.065152.007 МД</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

## 2.1 Основні характеристики біодизеля на основі ліпідів *C. Japonica*

У країнах Європи найбільш часто для отримання біодизелю використовується рапс (*Brassica napus*). Тому метою підтвердження доцільності застосування ліпідів грибів було проведення порівняльного аналізу складу ліпідів ріпаку і гриба-продуцента, а також визначення та порівняння основних характеристик біодизельного палива, отриманого на основі ліпідів організмів-продуцентів. Як видно з наведених діаграм (рис. 3) якісний склад ЖК основних ліпідів досліджуваних організмів практично ідентичний. Основною відмінністю в ЖК складі є менший вміст насиченої  $C_{16:0}$  кислоти, і більше - ненасичених  $C_{18:1}$  і  $C_{18:2}$  кислот у складі ліпідів ріпаку, що відобразилося на ступені насиченості (СН) ліпідів: СН ліпідів мукової гриба склала 1,06, ліпідів ріпаку – 1,34. У складі ліпідів обох організмів слід зазначити відсутність поліненасичених ЖК (ПНЖК).

Варто відзначити, що менша СН і відсутність ПНЖК позитивно впливають на окиснювальну стійкість біодизельного палива [1].

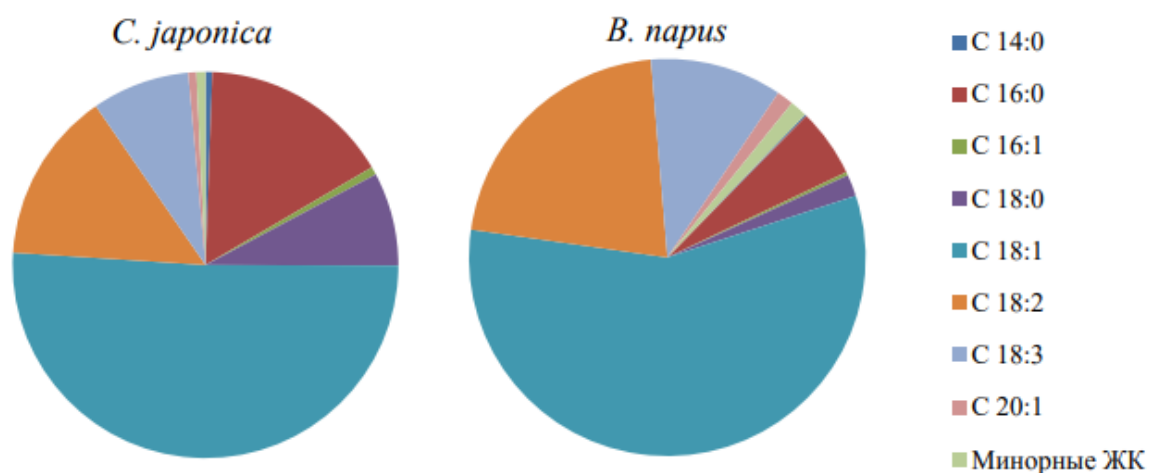


Рисунок 3. Склад жирних кислот загальних ліпідів *C. japonica* та *B. napus* [1].

Порівняння готового продукту з аналогом проводилося за такими характеристиками якості біодизельного палива як йодне число, цетанове число, а також питома теплота згорання.

Йодне число (ЙЧ) - величина, що характеризує зміст подвійних зв'язків в ненасиченій сполуці, і визначає, зокрема, загальну ненасиченість жирів. ЙЧ тісно пов'язане з таким показником як хімічна стабільність палива. ЙЧ розраховується на

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

підставі даних про кількісний та якісний склад ЖК. Для біодизеля з ліпідів мукового гриба та рапсу значення цього показника склали 91 та 115 відповідно (табл. 4). Згідно європейського стандарту EN 14214 для біодизеля величина показника ЙЧ не повинна перевищувати 120 одиниць.

Питома теплота згоряння є однією з найважливіших характеристик палива, що служать для оцінки його енергетичних можливостей і економічної ефективності. Ця фізична величина показує яка кількість теплоти виділяється при повному згорянні 1 кг палива в атмосфері кисню. Величина нижчої теплоти згорання біодизеля, отриманого з ліпідів гриба, складає 38 МДж/кг, а біодизеля, отриманого на основі ріпакової олії також 38 МДж/кг, що повністю задовольняє вимогам стандарту EN 14214, згідно з яким мінімальна межа даного показника становить 35 МДж/кг.

Цетанове число (ЦЧ) - показник, що характеризує займистість дизельного палива, який також впливає на запуск двигуна, жорсткість його роботи, витрату палива і димність відпрацьованих газів. Величина ЦЧ біодизеля, отриманого з ліпідів гриба, складає 56, а біодизеля, отриманого на основі ріпакової олії - 52. У вимогах європейських стандартів встановлена мінімальна межа даного показника - 51 одиниця.

Таким чином, біодизель, отриманий на основі ліпідів *S. japonica*, по ряду найважливіших показників відповідає вимогам європейських стандартів для біодизеля і аналогічний найбільш широко використовуваному в країнах ЄС біодизелю на основі ріпакової олії (табл. 4) [1].

Таблиця 4. Основні характеристики біодизельного палива отриманого з різних джерел [1, 12].

Джерело	Йодне число	Цитанове число	Теплота згорання (МДж/кг)
Біодизель (EN 14214)	<120	>51	>35
<i>Brassica napus</i>	115	52	38
<i>Cunninghamella japonica</i>	91	56	38

### Розділ 3. Обґрунтування вибору технології виробництва

Сучасне біотехнологічне виробництво висуває ряд вимог до організму - продуцента ліпідів:

1. Продуцент повинен мати високий вміст ліпідів (не менше ніж 40%) в сукупності з високою продуктивністю
2. Необхідність безвідходної технології отримання ліпідів.
3. Велика частина ліпідів повинна бути представлена триацилгліцеридами.
4. Середовища для ферментації повинні бути дешевими, за відсутності негативного впливу на якість ліпідів.

#### 3.1 Вплив параметрів культивування на утворення та склад ліпідів міцеліальних грибів

При розгляді мікроорганізмів в якості потенційних джерел ліпідів необхідно взяти до уваги той факт, що на накопичення ліпідів, їх жирнокислотний склад та на розподіл жирних кислот у ліпідних фракціях впливає ряд різних факторів. Кількість ліпідів і їх склад у грибів залежать від стадії росту: процес утворення ліпідів пропорційний накопиченню біомаси і закінчується в стаціонарну фазу росту культури, після чого вміст ліпідів починає зменшуватися. Накопичення ліпідів в біомасі не починається доти, поки не виснажуються запаси азоту.

Одним з важливих факторів, що визначають процес ліпідоутворення, є температура культивування. Для кожного виду існує температурний оптимум розвитку культури. Однак він не завжди відповідає найбільш інтенсивному продукуванню ліпідів [1].

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24



Зазвичай підвищення температури в певних межах супроводжується збільшенням загальної кількості ліпідів. Крім того, для міцеліальних грибів спостерігається пряма залежність між ступенем ненасиченості ліпідів і температурою. Так культивування при знижених температурах призводить до збільшення активності ферментів, відповідальних за синтез ПНЖК. Збільшення температури призводить до зниження відносного вмісту ПНЖК, і супроводжується збільшенням частки  $C_{18:1}$ ,  $C_{18:2}$ . Температура впливає і на фракційний склад як нейтральних, так і полярних ліпідів, що вказує на наявність механізму адаптації до низьких температур (Феофілоа і ін., 1996).

Як фракційний склад ліпідів, так і структура окремих ЖК змінюється при синтезі *de novo* в залежності від якісного складу живильного середовища на якій був вирощений мікроорганізм. Важливою характеристикою є співвідношення вуглецю і азоту (C/N) в середовищі культивування. Як уже зазначалося, накопичення ліпідів переважно відбувається в кінцевих фазах росту культури, коли кількість азоту в середовищі культивування дуже мала або даний компонент живильного середовища майже вичерпаний. Низький вміст азоту сприяє синтезу ліпідів, а у деяких представників і до синтезу ненасичених ЖК. Отже, високе значення показника співвідношення C/N в середовищі сприяє посиленню синтезу ліпідів.

Також слід підкреслити, що фракційний склад ліпідів змінюється в залежності від типу сполук азоту в живильному середовищі. Згідно, якщо в середовищі азот присутній у вигляді нітратів, то збільшується вміст полярних ліпідів, тоді як частка ТАГ зменшується. Треба відзначити, що для кожного мікроорганізму характерні специфічні вимоги до форми і вмісту азоту в середовищі. Серед найбільш поширених сполук азоту, які використовуються в якості компонента живильного середовища, можна назвати дріжджовий екстракт, нітрат натрію, хлорид амонію, сечовина, нітрат амонію, сульфат амонію.

Характеристика продуценту, надана у попередніх розділах, була результатом досліджень на середовищі Гудвіна, в якому джерелом азоту є амінокислота

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

аспарагін, що здорожчує вартість цього середовища. Тому доцільним є оптимізація середовища шляхом пошуку більш дешевого джерел азоту.

Було вивчено можливість заміни аспарагіну на інші джерела азоту, взяті в еквівалентній кількості: нітрат натрію, нітрат амонію, хлорид амонію та сечовину. Заміна аспарагіну на випробувані джерела азоту (крім хлориду амонію) сприятливо впливала на активність ростових процесів (табл. 5). Найбільший вихід ліпідів, що перевищив контроль майже на 40%, був відзначений при культивуванні на середовищі, що містить нітрат амонію [1].

Таблиця 5. Показники росту та ліпідоутворення *C. japonica* F-1204(-) на середовищах з використанням різних джерел азоту [1].

Джерело азоту	Біомаса, г/дм <sup>3</sup>	Ліпіди	
		% від сухої маси	г/дм <sup>3</sup>
<b>Аспаргін</b>	<b>10,8</b>	<b>50,68</b>	<b>5,48</b>
Нітрат натрію	17,04	28,34	4,83
<b>Нітрат амонію</b>	<b>16,1</b>	<b>46,59</b>	<b>7,50</b>
Хлорид амонію	5,2	32,45	1,69
Сечовина	12,9	26,23	3,38

Оскільки заміна одного з компонентів живильного середовища може привести до зміни жирнокислотного складу, було проведено порівняльне дослідження складу ЖК ліпідів, отриманих при культивуванні гриба на середовищах з аспарагін і нітратом амонію. Отримані результати (рис. 4) свідчать про те, що заміна джерела азоту в середовищі призвела до збільшення вмісту пальмітинової кислоти і до зниження вмісту олеїнової кислоти, в іншому ж склад ЖК був практично ідентичним.

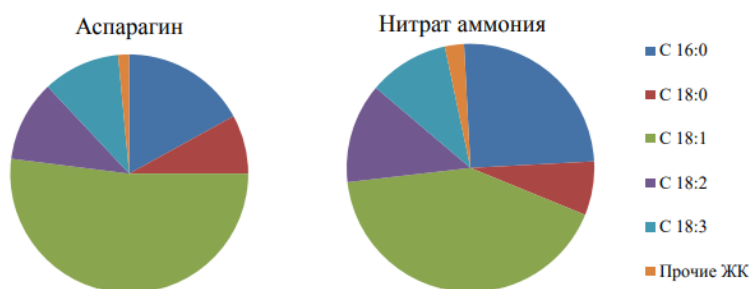


Рисунок 4. Порівняння ЖК складу *C. japonica* F-1204(-) при культивуванні на середовищах з різними джерелами азоту [1].

Заміна аспарагіну на нітрат амонію не впливає на величину теплоти згорання, яка складає 37 МДж/кг і на величину цитанового числа - 57. Ці значення вказують на те, що заміна аспарагіну на нітрат амонію викликає інтенсифікацію ростових процесів у всіх досліджених штамів, накопичення біомаси перевищує контроль більш ніж в 1,5 рази, і практично не впливає на ліпогенну активність культур. Таким чином, найбільш сприятливим для росту гриба і накопичення клітинних ліпідів з усіх розглянутих джерел азоту є нітрат амонію, і вибір даної речовини в якості джерела азоту дозволив знизити собівартість середовища на 38% [1].

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

### 3.2 Опис технології виробництва

Провівши літературний пошук існуючих технологій виготовлення біодизеля з ліпідів міцеліальних грибів було запропоновано наступну технологію. Спосіб отримання ліпідів включає вирощування спор міцеліальних грибів роду *Cunninghamella* протягом 5 днів на сусло-агарі при температурі 27-28°C, змив спор з поверхні і витримку 20-30 хв при слабкому змішуванні, використання змитих спор як посівного матеріалу, який ферментують протягом 96-120 годин при температурі 29±0,5°C та pH=6,5 на живильному середовищі, що містить глюкозу, нітрат амонію, сульфат магнію семиводний, дигідрофосфат калію, дріжджовий екстракт та N-ацетил-D-глюкозаміну. В стандартному середовищі Гудвіна, виходячи з економічної доцільності та інтенсифікації процесу проростання спор, було замінено джерело азоту: замість дороговартісної амінокислоти аспаргіну застосувати нітрат амонію, що підвищує продуктивність продуцента та не змінює ЖК склад отриманих ліпідів.

Виділення ліпідів з біомаси також запропоновано вдосконалити. Замість використання канцерогенних та отруйних екстракторів, таких як хлороформ та метанол, запропоновано застосувати надкритичну екстракцію флюїдним CO<sub>2</sub>. Цей метод не тільки більш дружній для екології, а також забезпечує екстракцію рекордних 60% ліпідів від маси сухої речовини за температури 100°C та тиску 50 МПа.

Апаратурна схема отримання ліпідів міцеліальних грибів зображена на малюнку 5.

Щодо самої реакції переестерифікації було обрано низькотемпературну або холодну технологію, що має ряд переваг перед гарячою, не зважаючи на менший процент виходу естерів в готовому продукті. Першорядною причиною є економія електроенергії на підігрівання суміші ліпідів та підтримки високого тиску в реакторі. Цей фактор дозволяє використовувати обладнання з меншими показниками стійкості та міцності, що здешевлює обладнання. Атмосферний тиск

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

та 60°C у реакторі дозволяє спростити обслуговування та забезпечити більш безпечні умови праці для робітників.

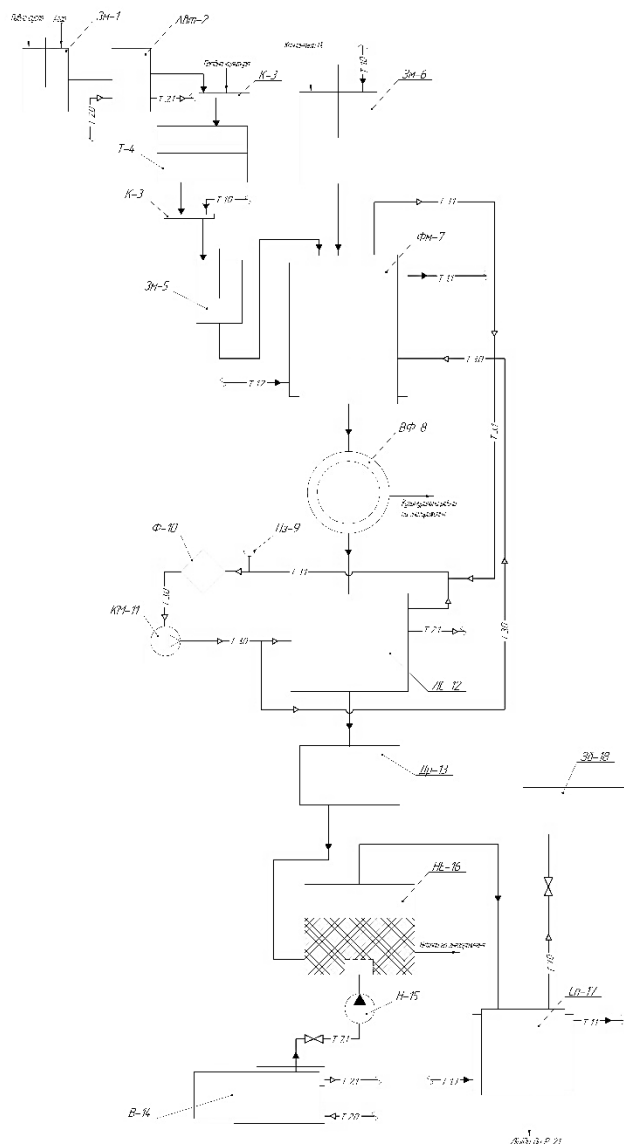


Рисунок 5. Апаратурна схема отримання ліпідів міцеліальних грибів:

Зм-1, Зм-5, Зм-6 – змішувач; Авт-2 – автоклав; К-3 – кювета;

Т-4 – термостат; Фм-7 – ферментер; ВМ-8 – вакуум-фільтр; Пз-9 – забирає повітря;

Ф-10 – повітряний фільтр; КМ-11 – компресор; ЛС-12 – ліофільна сушарка;

Др-13 – дробарка; В-14 – випарник; Н-15 – насос; НЕ-16 – надкритичний екстрактор; Сп-17 – сепаратор; Зб-18 – збирач CO<sub>2</sub>;

В якості спирту для реакції переестерифікації обрано етиловий спирт. Його також можна отримати з рослинної сировини, що робить його екологічним.

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Доцільніше використовувати саме етанол, адже метиловий спирт надто небезпечний та токсичний.

Апаратурна схема отримання біодизеля шляхом переестерифікації ліпідів міцеліальних грибів зображена на малюнку 6.

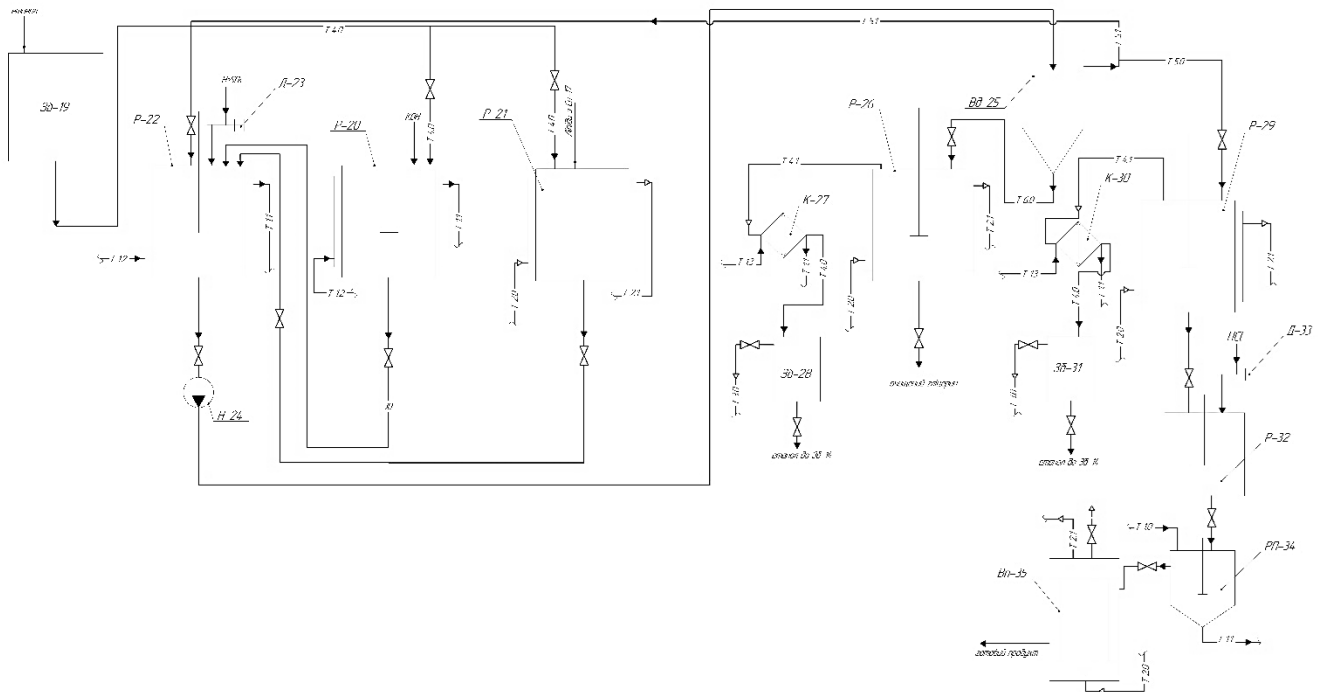


Рисунок 6. Апаратурна схема виробництва біодизельного пального:

36-19 – ємність для етанолу; P-20, P-21 – реактор-змішувач; P-22 – реактор переестерифікації; Д-23 – дозатор кислоти; Н-24 – циркуляційний насос; Вд-25 – відстійник; P-26 – реактор-випарник спирту; К-27, К-30 – конденсатор парів етанолу; 36-28, 36-31 – ємності етанолу; P-29 – реактор-випарник етанолу; 36-32 – ємність для нейтралізації; Д-33 – дозатор HCl; РП-34 – реактор для промивання;  
Вп-35 – вакуум-випарник.

Далі надається поетапний опис технології отримання біодизеля на основі ліпідів міцеліальних грибів.

ДР 1. Підготовка очищеного повітря.

ДР 1.1. Забір повітря з атмосфери. Здійснюється за допомогою збирача Пз-9 з висоти 4 м. Проводиться технічний контроль обладнання на справність.

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

ДР 1.2. Очищення у повітряному фільтрі. Використовується повітряний фільтр Ф-10 з діаметром прозорів в 2 мкм, що дозволяє затримати механічні домішки, пил та ін. Проводиться технічний контроль фільтруючого матеріалу та фільтру на наявність пошкоджень.

## ДР 2. Приготування сусло-агару.

ДР 2.1 Приготування сусло-агару. Проводиться змішування компонентів у змішувачі Зм-1 у співвідношенні 20 г агару на 1 л пивного сусла. Проводиться технічний контроль обладнання та хімічний контроль суміші.

ДР 2.2 Стерилізація сусло-агару. Готову суміш стерилізують у автоклаві Авт-2 за температури 112°C протягом 15 хв. Проводиться хімічний контроль рівня рН = 6,5-7, технічний контроль обладнання та контроль процесу стерилізації.

ДР 3. Підготовка поживного середовища. У змішувачі Зм-6 відбувається змішування усіх компонентів поживного середовища у заданих пропорціях (мас. %): глюкоза - 5, нітрат амонію - 0,12, сульфат магнію семиводний - 0,025, дигідрофосфат калію - 0,1, дріжджовий екстракт - 0,1. Проводиться технічний контроль обладнання та контроль хімічного складу середовища.

## ДР 4. Підготовка посівного матеріалу.

ДР 4.1. Висівання спор міцеліальних грибів на сусло агар. Висівання спор продуцента проводиться поверхнево у кюветах К-3 на сугло-агарі. Проводиться мікробіологічний контроль культури.

ДР 4.2. Культивування спор. Кювети з культурою поміщаються у термостат де культивуються протягом 5 діб за температури 27-28°C. Проводиться технічний контроль обладнання та параметрів культивування.

ДР 4.3. Змив спор водою з поверхні сусло-агару. Проводиться контроль обладнання та стану культури продуцента.

ДР 4.4. Підготовка інокуляту. Після змиву спор з поверхні агару стерильною водою, інокулят портрапляє до змішувача Зм-5, де витримується 20-30 хв при слабкому перемішуванні. Проводиться технічний контроль обладнання та концентрацій клітин у інокуляті.

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДР 6. Підготовка розчину каталізатора у змішувачі. Приготування суміші КОН та етанолу відбувається у реакторі змішувачі Р-20. Проводиться технічний та хімічний контроль концентрації етилату калію.

ТП 6. Культивування міцеліальних грибів. Культивування продуценту відбувається партійним способом. У ферментер Фм-7 надходить поживне середовище та підготований інокулят. Культивування проходить за температури  $29 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$  протягом 96-120 годин. рН середовища підтримується у межах 6,5-7. Температура культивування забезпечується за рахунок надходження у сорочку ферментера теплового агенту у вигляді підігрітої води до температури  $30^{\circ}\text{C}$ . Перемішування вмісту апарату відбувається за допомогою лопатевої мішалки та барботуванням середовища повітрям. Проводиться технічний контроль обладнання та основних параметрів процесу.

ТП 7. Відділення біомаси від поживного середовища шляхом фільтрації. Розділення міцелію та культуральної рідини відбувається у барабанному вакуум-фільтрі ВФ-8. Відпрацьоване середовище направляється на знезараження та утилізацію. Проводиться технічний контроль обладнання та забрудненість мембран.

ТП 8. Ліофільне висушування вологої біомаси.

ТП 8.1 Заморожування. Перший етап ліофільного висушування в ліофільній сушарці ЛС-12 проходить за температури  $-40^{\circ}\text{C}$ , атмосферному тиску протягом 3 годин. Відбувається глибинне заморожування води, що знаходиться у міцелію. Проводиться технічний контроль обладнання та основних параметрів процесу.

ТП 8.2 Первинне висушування. Другий етап ліофільного висушування протікає за температури  $-5^{\circ}\text{C}$  та тиску 100 мБар протягом 12 годин. При наднизькому тиску кристалізована вода, що містилася у міцелію з твердого стану одразу переходить у газоподібний. Водяна пара відводиться з апарату. Проводиться технологічний контроль обладнання та основних параметрів процесу.

ТП 8.3 Вторинне висушування. Третій етап ліофільного висушування протікає за температури  $30^{\circ}\text{C}$  у вакуумі протягом 8 годин. На цій стадії

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



випаровується залишкова волога і відводиться у вигляді водяної пари. Проводиться технологічний контроль обладнання та основних параметрів процесу.

ТП 9. Подрібнення сухого міцелію. Подрібнення міцелію відбувається у дробарці Др-13. Проводиться технічний контроль обладнання.

ТП 10. Екстракція ліпідів з біомаси надкритичним CO<sub>2</sub>.

ТП 10.1 Продавлювання міцелію флюїдним CO<sub>2</sub>. У випарник В-14 надходить зріджений CO<sub>2</sub> та, нагріваючись до температури 100°C під дією пари у сорочці апарату, за допомогою насосу Н-15 під тиском в 50 МПа подається у надкритичний екстрактор НЕ-16 зі швидкістю потоку 12 мл/год. У надкритичному екстракторі НЕ-16 флюїдний CO<sub>2</sub> продавлюється через касету з завантаженим подрібненим міцелієм. Проводиться контроль обладнання та основних параметрів процесу.

ТП 10.2 Розділення CO<sub>2</sub>-екстракту шляхом охолодження. Отриманий внаслідок продавлювання CO<sub>2</sub>-екстракт подається у сепаратор Сп-17, де, під дією води для охолодження в сорочці апарату, за нормальних умов охолоджується до температури 25°C. CO<sub>2</sub>-екстракт розділяється на суміш ліпідів і газоподібний CO<sub>2</sub>, що накопичується у збирачі Зб-18. Ліпідна суміш надходить у реактор Р-21. Проводиться контроль обладнання та основних параметрів процесу.

ТП 11. Приготування вихідної суміші. У реакторі Р-21 до суміші ліпідів додається етанол з Зб-19 і перемішується до гомогенізації суміші. Проводиться технічний контроль обладнання і фізичних процесів.

ТП 12. Реакція переестерифікації. До реактора для переестерифікації Р-22 поступає вихідна суміш з реактора Р-21, етилат калію з реактора-змішувача Р-20 та дозатором Д-23 подається H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> для нейтралізації надлишку КОН. Реакція проходить при температурі 60°C протягом 1 год. Проводиться технічний контроль обладнання та хімічний контроль протікання реакції.

ТП 13. Розділення суміші ефіру та гліцерилу у відстійнику. З ректора для переестерифікації Р-22 насосом Н-24 суміш ефіру і гліцерину поступає у відстійник В-23. Розділення відбувається протягом 20-60хв.

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Суміш ефіру і оливи, що не прореагувала поступає в реактор переестерифікації Р-20. Проводиться технічний контроль обладнання та хімічний контроль суміші.

ТП 14. Очищення гліцерилу з конденсацією етанолу. Гліцерол з відстійника В-25 потрапляє у реактор-випарник Р-26, де, під дією пари в сорочці, при температурі 80°C з розчину випаровується зайвий етанол. Отримують побічний готовий продукт – очищений гліцерин.

Пари етанолу по трубопроводу потрапляють до конденсатора К-27, де, за допомогою охолоджуючої води, конденсуються і рідкий етанол потрапляє до збірника Зб-28. Звідти етанол поставляється до збірника етанолу Зб-19. Проводиться технічний контроль обладнання та хімічний контроль гліцеролу.

ТП 15. Очищення ефіру. Ефір очищають випарюванням спирту в реакторі-випарнику Р-29 при температурі 80°C, що конденсується в К-30 і збирається в Зб-31. Отримують непідготований біодизель. Проводиться технічний контроль обладнання та хімічний контроль ефіру.

ТП 16. Нейтралізація біодизеля. Нейтралізація проходить у реакторі Р-32 з допомогою дозатора НСІ Д-33. Проводиться технічний контроль обладнання та хімічний контроль нейтралізації.

ТП 17. Промивання біодизеля з видаленням солей. Промивання проходить в промивному реакторі РП-34 з допомогою води. Забруднена промивна вода скидається в трубопровід. Проводиться технічний контроль обладнання та хімічний контроль промивання.

ТП 18. Сушіння вакуум-випарюванням. У вакуум-випарнику Вп-35 з допомогою граючої пари проводиться фінальне звільнення біодизеля від води, що може бути сприятливим середовищем для розмноження мікроорганізмів. Отримуємо готовий продукт. Проводиться технічний контроль обладнання.

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розділ 4. Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкцій апарату

### 4.1 Параметричний розрахунок ферментера

Метою розрахунку є визначення основних розмірів ферментера, турбінної мішалки та барботера.

Вихідні дані:

Частота обертів мішалки $n$ , об/хв	60;
Об'єм суміші в апараті $V_p$ , м <sup>3</sup>	6,7;
Коефіцієнт заповнення $\varphi$	0,6;
Температура культурального середовища $T_{кр}$ , К (°С)	302 (29);
Густина культурального середовища $\rho_p$ , кг/м <sup>3</sup>	1007,1;

#### 4.1.1 Визначення конструктивних параметрів апарата

Розрахунок проводимо згідно методики в літературі [21].

Розрахункова схема представлена на рисунку 7.

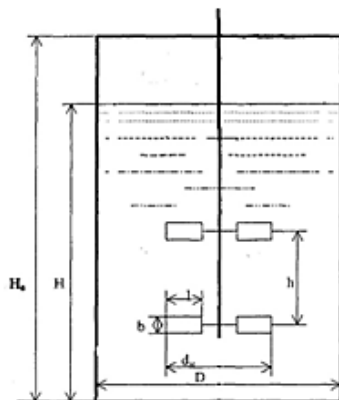


Рисунок 7. Схема ферментера з перемішувальним пристроєм.

Визначаємо номінальний об'єм апарата:

$$V_{\text{ап}} = \frac{V_p}{\varphi} = \frac{6,7}{0,6} = 11,2 \text{ м}^3$$

Приймаємо стандартний внутрішній діаметр апарата  $D = 1,8 \text{ м}$ .

Визначаємо висоту циліндричної обичайки апарата:

$$H_{\text{цил.об.}} = \frac{V_{\text{ап}} \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{11,2 \cdot 4}{3,14 \cdot 1,8^2} = 4,4 \text{ м}$$

Висоту циліндричної обичайки приймаємо 4,5 м.

Площа поверхні циліндричної обичайки апарата:

$$F_{\text{ап}} = \pi \cdot D \cdot H_{\text{цил.об.}} = 3,14 \cdot 1,8 \cdot 4,5 = 25,4 \text{ м}^2.$$

Приймаємо стандартний внутрішній діаметр апарату  $D = 1,8 \text{ м}$  і висоту циліндричної обичайки апарата  $H = 4,5 \text{ м}$ , з площею поверхні  $F = 26 \text{ м}^2$ .

#### 4.1.2 Розрахунок геометричних розмірів мішалки

Розрахунок проводимо згідно методики в літературі [22].

Діаметр мішалки:

$$d_{\text{м}} = \frac{D}{3} = \frac{1,8}{3} = 0,6 \text{ м}$$

Висота лопаті:

$$b_{\text{л}} = 0,2 \cdot d_{\text{м}} = 0,2 \cdot 0,6 = 0,12 \text{ м}$$

Довжина лопаті:

$$l_{\text{л}} = 0,25 \cdot d_{\text{м}} = 0,25 \cdot 0,6 = 0,15 \text{ м}$$

Кількість ярусів:

$$m_{\text{я}} = \frac{D}{d_{\text{м}} \cdot 1,5} = \frac{1,8}{0,6 \cdot 1,5} = 2$$

Приймаємо лопатеву мішалку з діаметром 0,6 м, висотою лопаті 0,12 м, довжиною лопаті 0,15 м. Мішалки розташовуємо в 2 яруси.

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4.2 Розрахунок геометричних розмірів барботера

Розрахунок проводимо згідно методики в літературі [22].

Схема барботера показана на рисунку 8.

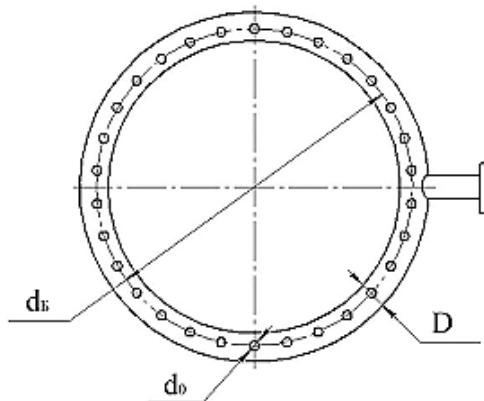


Рисунок 8. Схема барботера.

Для аерування  $6,7 \text{ м}^3$  біомаси потрібно витратити повітря:

$$L_{\text{аер.пов.}} = 0,017 \cdot V = 0,017 \cdot 6,7 = 0,114 \text{ м}^3/\text{с}$$

Приймаємо, що швидкість виходу повітря з отворів барботера становить  $20 \text{ м/с}$ . Тоді площа усіх отворів барботера повинна становити:

$$\Sigma F_{\text{отв}} = \frac{V_{\text{пов.}}}{W_{\text{пов.}}} = 0,01 \text{ м}^2$$

Приймаємо, що діаметр одного отвору становить  $5 \text{ мм}$  з відповідною площею  $1,96 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ .

Визначаємо кількість отворів:

$$n_{\text{отв}} = \frac{\Sigma F_{\text{отв}}}{F_{\text{отв}}} = \frac{0,01}{1,96 \cdot 10^{-5}} = 510 \text{ шт.}$$

Середній діаметр кільця барботера дорівнює діаметру мішалки:

$$d_{\text{барб}} = d_{\text{м}} = 0,6 \text{ м}$$

Довжина кола на якому повинні бути розташовані отвори:

$$l_{\text{кола}} = d_{\text{барб}} \cdot 3,14 = 0,6 \cdot 3,14 = 1,884 \text{ м}$$

Відстань між сусідніми отворами:

$$x = \frac{l_{\text{кола}}}{n_{\text{отв}}} = \frac{1,884}{510} = 0,0037 \text{ м}$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БЕ71мп.065152.007 МД

Арк.

37

Це менше ніж рекомендована відстань  $t=25-30$  мм. Для досягнення рекомендованої відстані можна розташувати отвори в два ряди.

Кількість отворів в одному ряді:

$$N_{\text{отв}} = \frac{l_{\text{кола}}}{t} = \frac{1884}{25} = 76 \text{ шт}$$

Кількість рядів:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{n_{\text{отв}}}{N_{\text{отв}}} = \frac{510}{76} = 7 \text{ шт}$$

Допускається не створювати окремий ряд отворів, що не перевищує  $10\% < 7\%$  отворів ряду – це не викличе суттєвих змін.

Визначаємо діаметр труби барботера:

$$D_{\text{барб}} = 7 \cdot x = 7 \cdot 25 = 175 \text{ мм},$$

де  $x$  – рекомендована відстань між рядами отворів,  $x = 25$  мм (рисунок 9).

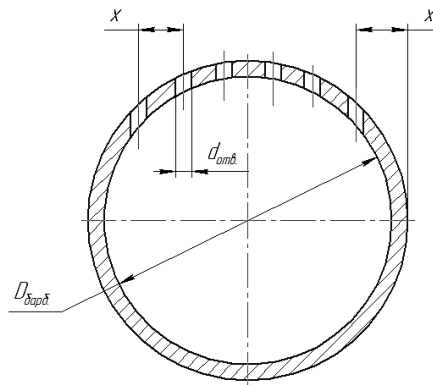


Рисунок 9. Схема розташування рядів отворів в трубі барботера.

Дійсна швидкість повітря в барботері:

$$W_{\text{пов}} = \frac{L_{\text{аер.пов}} \cdot 4}{\pi \cdot D_{\text{барб}}^2} = \frac{0,114 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,175^2} = 4,7 \text{ м/с}$$

В результаті розрахунку було прийнято: середній діаметр кільця барботера – 0,6 м, кількість отворів 510, розташованих в два ряди, і внутрішній діаметр труби барботера – 175 мм.

### 4.3 Розрахунок потужності, що витрачається на перемішування

Мета розрахунку – знайти мінімальну потужність приводу мішалки, та порівняти її з потужністю даного приводу.

Вихідні данні:

Робочий об'єм ферментера $V_p$ , м <sup>3</sup>	6,7;
Густина повітря $\rho_{\text{пов}}$ , кг/м <sup>3</sup>	1,9;
Діаметр лопатевої мішалки $d_m$ , м	0,6;
Число ярусів мішалки $m_j$ , шт.	2;
Внутрішній діаметр апарата $D$ , м	1,8;
Висота рідини у ферментері $h$ , м	2,7;
Частота обертання вала мішалки $n$ , с <sup>-1</sup>	1;
Витрати барботуючого газу $L_{\text{аер.пов}}$ , м <sup>3</sup> /с	0,114;
Густина середовища $\rho_p$ , м <sup>3</sup> /кг	1007,1.

Розрахунок проводимо згідно методики в літературі [22].

Розрахункова схема наведена на рисунку 10.

Відцентровий критерій Рейнольдса:

$$Re = \frac{n \cdot d_m^2 \cdot \rho_p}{\mu_p} = \frac{1 \cdot 0,6^2 \cdot 1007,1}{0,9744 \cdot 10^{-3}} = 372 \cdot 10^3$$

де  $\mu_p$  – динамічна в'язкість культуральної рідини при  $T = 303$  К,  $\mu_p = 0,9744 \cdot 10^{-3}$  Па·с;

$\rho_p$  – густина культуральної рідини при  $T = 302$  К,  $\rho_p = 1007,1$  м<sup>3</sup>/кг.

За довідковою літературою знаходимо коефіцієнт потужності мішалки  $k_n = 4$ .

Потужність, що витрачається на перемішування гомогенної рідини:

$$N_p = k_n \cdot \rho_p \cdot n^3 \cdot d_m^5 = 4 \cdot 1007,1 \cdot 1^3 \cdot 0,6^5 = 313 \text{ Вт}$$

Потужність, що витрачається на перемішування газорідинної суміші:

$$N_{\text{гр}} = N_p \cdot (1 - 1,26 \cdot k_1) = 313 \cdot (1 - 1,26 \cdot 0,53) = 103,97 \text{ Вт},$$

де  $k_1$  – критерій витрати газу:

$$k_1 = \frac{L_{\text{аер.пов}}}{n \cdot d_m^3} = \frac{0,114}{1 \cdot 0,6^3} = 0,53$$

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

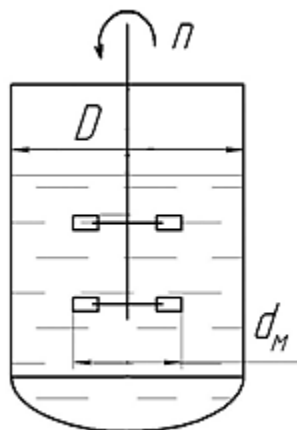


Рисунок 10. Розрахункова схема

При встановленні  $m_{\text{я}}$  мішалок на валу потужність, що витрачається на перемішування:

$$N_{\text{м}} = N_{\text{гр}} \cdot (0,4 + 0,6 \cdot m_{\text{я}}) = 103,97 \cdot (1 + 0,6 \cdot 2) = 688,6 \text{ Вт.}$$

Розрахункова потужність на валу мішалки:

$$N = k_1 \cdot k_2 \cdot N_{\text{м}} = 1,1 \cdot 1,9 \cdot 688,6 = 1439 \text{ Вт,}$$

де  $k_1 = 1,1$  – коефіцієнт, що враховує збільшення потужності за рахунок збільшення кількості біомаси;

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує наявність перегородок та труби для передавлювання середовища:

$$k_2 = \sqrt{\frac{H_{\text{р}}}{D}} = \sqrt{\frac{3,497}{1,8}} = 1,9,$$

де  $H_{\text{р}}$  – висота рідини в ферментері в робочих умовах (через наявність газу в рідині буде більшою ніж початкова):

$$H_{\text{р}} = \frac{(\frac{a \cdot V_{\text{р}} \cdot d_{\text{б}}}{6} + V_{\text{р}}) \cdot 4}{\pi \cdot D^2} = \frac{(\frac{71,525 \cdot 6,7 \cdot 0,019}{6} + 6,7) \cdot 4}{3,14 \cdot 1,8^2} = 3,497 \text{ м}$$

де  $a$  – газовміст системи (розраховується в п. 5.4),  $a = 71,525 \text{ м}^2 / \text{м}^3$ ;

$d_{\text{б}}$  – середній діаметр газових бульбашок (розраховується в п. 5.4),  $d_{\text{б}} = 0,019 \text{ м}$ .

Мінімальна потужність електродвигуна приводу:

$$N_{\text{пр}} = \frac{N}{\eta} = \frac{1439}{0,9} = 1599 \text{ Вт,}$$

де  $\eta$  – К.К.Д. приводу мішалки  $\eta = 0,9$ .

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



Приймаємо потужність електродвигуна 2 кВт.

Потужність електродвигуна достатня для того, щоб забезпечити перемішування культуральної рідини турбінною мішалкою діаметром 1 м з частотою обертання вала  $1 \text{ с}^{-1}$ .

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4.4 Розрахунок коефіцієнта масопереносу при механічному диспергуванні газу в рідині

Мета розрахунку – знайти коефіцієнт масовіддачі та потік маси  $O_2$  від газової фази до культуральної рідини, який забезпечується при даному режимі перемішування та витраті барботуючого газу.

Вихідні дані:

Робочий об'єм ферментера $V_p$ , $m^3$	6,7;
Діаметр відкритої турбінної мішалки $d_m$ , м	0,6;
Густина повітря при $T = 293$ К $\rho_r$ , $kg/m^3$	1,2;
Число ярусів мішалки $m_j$ , шт.	2;
Внутрішній діаметр апарата $D$ , м	1,8;
Висота рідини в ферментері $h$ , м	2,7;
Частота обертання вала мішалки $n$ , $s^{-1}$	1;
Витрати барботуючого газу $q$ , $m^3/s$	0,114;
Густина середовища $\rho_p$ , $kg/m^3$	1007,1;
Динамічна в'язкість рідини $\mu_p$ , Па·с	$0,9744 \cdot 10^{-3}$ ;
Коефіцієнт фазової рівноваги, при 302 К $m$ , Па	$4,18 \cdot 10^9$ ;
Середня концентрація кисню в повітрі $y$ , $kg/m^3$	0,17;
Тиск над рідиною в ферментері $p$ , МПа	0,1.

Розрахунок проводимо згідно методики у літературі [23].

Схема процесу переносу кисню в ферментері зображена на рисунку 11.

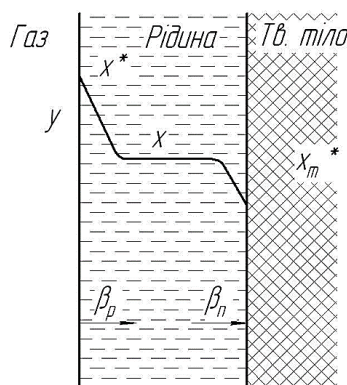


Рисунок 11. Схема процесу переносу кисню в ферментаторі.

Дисипація енергії, що вводиться в об'єм рідини перемішуючим пристроєм:

$$\varepsilon_m = \frac{N_{\text{гр}}}{V_p} = \frac{103,97}{6,7} = 81,6 \text{ Вт/м}^3$$

Приведена швидкість в апараті:

$$W_r = \frac{q}{0,785 \cdot D^2} = \frac{0,114}{0,785 \cdot 0,6^2} = 0,0448 \text{ м/с}$$

Дисипація енергії при барботажі газу крізь рідину:

$$\varepsilon_r = \rho_p \cdot g \cdot W_r = 1007,1 \cdot 9,81 \cdot 0,0448 = 442,6 \text{ Вт/м}^3$$

Швидкість спливання газових бульбашок:

$$U_{\pi} = 1,5 \left[ \sigma \cdot g \cdot (\rho_p - \rho_r) / \rho_p^2 \right]^2 = 1,5 \left[ 0,05 \cdot 9,81 \cdot (1007,1 - 1,2) / 1007,1^2 \right]^2 = 0,2228 \text{ м/с}$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг рідини при  $T = 302 \text{ К}$ ,  $\sigma = 0,05 \text{ Н/м}$ .

Газовміст системи:

$$\varphi_r = \frac{W_r}{c \cdot (W_r + W_p) + k U_{\pi}} = \frac{0,0448}{1 \cdot 0,0448 + 1 \cdot 0,2228} = 0,167$$

де коефіцієнти пропорційності  $C=1$  та  $k=1$ , а швидкість рідини  $W_p=0$ .

Середній діаметр газових бульбашок:

$$d_6 = 4,15 \cdot \left[ \frac{\sigma^3 \cdot g}{\rho_p \cdot \varepsilon_m^2} \right]^{0,2} \cdot \varphi^{0,5} = 4,14 \cdot \left[ \frac{0,05^3 \cdot 9,81}{1007,1 \cdot 81,6^2} \right]^{0,2} \cdot 0,167^{0,5} = 0,019 \text{ м.}$$

Питома площа міжфазної поверхні:

$$a_1 = \frac{6 \cdot \varphi_r}{d_6} = \frac{6 \cdot 0,067}{0,019} = 52,7 \text{ м}^2/\text{м}^3$$

або

$$a_2 = 1,44 \left( \frac{\varepsilon_m^{0,4} \cdot \rho_p^{0,2}}{\sigma^{0,6}} \right) \left( \frac{W_r}{U_{\pi}} \right)^{0,5} = 1,44 \left( \frac{81,6^{0,4} \cdot 1007,1^{0,2}}{0,05^{0,6}} \right) \left( \frac{0,0448}{0,2228} \right)^{0,5} = 90,35 \text{ м}^2/\text{м}^3$$

Серед двох значень приймаємо середнє:

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{52,7 + 90,35}{2} = 71,525 \text{ м}^2/\text{м}^3$$

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Об'ємний коефіцієнт масовіддачі при встановленні  $m_{\text{я}}$  відкритих турбінних мішалок на валу:

$$\beta_p a = 0,8 \cdot \varepsilon_{\text{п}}^{0,5} \cdot n^{0,2} \cdot m_{\text{я}}^{0,47} \cdot \left(\frac{d_{\text{м}}}{D}\right)^{0,18} = 0,8 \cdot 524,2^{0,5} \cdot 1^{0,2} \cdot 2^{0,47} \cdot \left(\frac{0,6}{1,8}\right)^{0,18} = 20,8 \text{ с}^{-1},$$

де  $\varepsilon_{\text{п}}$  – сумарна дисипація енергії, що вводиться в об'єм рідини перемішуванням та при барботуванні газу крізь рідину:

$$\varepsilon_{\text{п}} = \varepsilon_{\text{м}} + \varepsilon_{\text{г}} = 81,6 + 442,6 = 524,2 \text{ Вт/м}^3.$$

Поверхневий коефіцієнт масовіддачі:

$$\beta = \frac{\beta_p a}{a} = \frac{20,8}{71,525} = 0,29 \text{ м/с}.$$

За законом Щукарева потік маси, що забезпечується перемішуванням дорівнює:

$$M_{O_2} = \beta \cdot F \cdot (x^* - x) = 0,29 \cdot 479,2 \cdot (0,0041 - 0,00082) = 0,456 \text{ кг/с}$$

$F$  – площа поверхні контакту фаз:

$$F = a \cdot V_p = 71,525 \cdot 6,7 = 479,2 \text{ м}^2$$

$x^*$  – рівноважна концентрація кисню на межі розділу фаз:

$$x^* = \frac{y \cdot p \cdot \rho_p}{m} = \frac{0,17 \cdot 0,1 \cdot 10^6 \cdot 1007,1}{4,18 \cdot 10^9} = 0,0041 \text{ кг/м}^3$$

Концентрація кисню розчиненого в об'ємі рідини:

$$x \approx 0,2 \cdot x^* = 0,2 \cdot 0,0041 = 0,82 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3.$$

Потік маси кисню від повітря до рідини при даному режимі перемішування складає 0,456 кг/с, для забезпечення заданої продуктивності він повинен бути більшим або рівним ніж той, що поглинають клітини під час свого розвитку та життєдіяльності, який розраховується у наступному пункті.

#### 4.5 Розрахунок необхідної кількості кисню для забезпечення заданої продуктивності ферментера

Мета розрахунку – знайти мінімальний потік маси кисню який задовольняє заданій продуктивності ферментера та умовам режиму перемішування.

Вихідні данні:

Робочий об'єм ферментера $V_p$ , м <sup>3</sup>	6,7;
Час роботи ферментера $\tau$ , год (с)	120;
Концентрація міцелію на виході $C$ , %	2,5.

Розрахунок проводимо згідно методики у літературі [23].

Розрахункова схема предасталена на рисунку 4.1.

Розділивши робочий об'єм ферментера на час його роботи, отримаємо продуктивність ферментера:

$$Q = \frac{V_p \cdot \rho_p}{\tau \cdot 3600} = \frac{6,7 \cdot 1007,1}{120 \cdot 3600} = 0,0156 \text{ кг/с}$$

Враховуючи, що концентрація міцелію на виході 2,5% маємо продуктивність по міцелію:

$$M = Q \cdot 0,025 = 0,0156 \cdot 0,025 = 0,00039 \text{ кг/с}$$

Необхідна кількість кисню для забезпечення заданої продуктивності дорівнює:

$$M_{O_2} = M \cdot 1,06 = 0,00039 \cdot 1,06 = 0,00041 \text{ кг/с}$$

Потік кисню, що забезпечується умовами роботи ферментера перевищує необхідний для забезпечення заданої продуктивності (0,00041 кг(O<sub>2</sub>)/с). Отже умови роботи ферментера забезпечують перенос до біомаси необхідної кількості кисню.

## 4.6 Матеріальний баланс

Таблиця 6. Матеріальний баланс процесу виробництва біодизелю з ліпідів  
міцеліальних грибів

Використано			Отримано		
Стадія	Назва сировини, матеріалів та напівпродуктів	Кількіс ть	Стадія	Назва кінцевого продукту/напівпродукту, відходів та втрат	Кількіс ть
		кг			кг
Стадія отримання інокуляту	Спори міцеліальних грибів	12	Стадія отримання інокуляту	Інокулят	134
	Вода	122			
Стадія отримання поживного середовища	Глюкоза	328,25	Стадія отримання поживного середовища	Поживне середовище	6565
	Нітрат амонію	7,88			
	MgSO4 · 7H2O	1,64			
	KH2PO4	5,66			
	Дріжджовий екстракт	5,66			
	Вода	6215,91			
Стадія культивування міцеліальних грибів	Поживне середовище	6565	Стадія культивування міцеліальних грибів	Міцелій продуцента	162
	Інокулят	134		Культуральна рідина	6500
				Втрати	65
Стадія надкритичної екстракції	Сухий міцелій	162	Стадія надкритичної екстракції	Суміш ліпідів	97
				Шлам	65
Стадія переестерифікації	Суміш ліпідів	97		Ефір	100
	Спирт	15		Гліцерин	12
	Каталізатор КОН	1,7		Вода	0,6
	Кислота	1,4		Сіль	2,5
Всього:		13703,1	Всього:		13703,1

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

БЕ71мп.065152.007 МД

Арк.

46

## Розділ 5. Автоматизація

Автоматизація виробничих процесів - один з найважливіших напрямків технічного прогресу всіх галузей народного господарства. Під автоматизацією мається на увазі комплекс організаційно-технічних заходів, що приводить до зменшення або повного виключення участі людини в здійсненні виробничого процесу.

Параметри, що впливають на якість перебігу процесу культивування міцеліальних грибів, які підлягають автоматичному контролю, регулюванню, сигналізації та захисту наведені у таблиці 7.

Саме від цих параметрів залежить стійкість протікання процесу, якість одержаного продукту, мінімізація витрат енергії на процес культивування.

Таблиця 7. Параметри, які підлягають автоматичному контролю, регулюванню, сигналізації та захисту.

Етап експлуатації	Назва етапу експлуатації	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологічного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до рівня автоматизації (контроль, регулювання, сигналізація)
1	2	3	4	5
1	Пусковий етап	Тиск в апараті, $P$	0,1 МПа +/- 0,05 МПа	Контроль, регулювання, сигналізація
2	Завантаження посівного матеріалу	Витрата посівного матеріалу, $G$	0,5 кг/с +/- 0,01 кг/с	Контроль, регулювання, сигналізація
3	Завантаження поживного середовища	Витрата поживного середовища, $G$	5,0 кг/с +/- 0,1 кг/с	Контроль, регулювання, сигналізація
3	Процес культивування міцеліальних грибів	Витрата повітря, $V$	0,114 м <sup>3</sup> /с +/- 0,01 м <sup>3</sup> /с	Контроль, регулювання, сигналізація
3	Процес культивування міцеліальних грибів	Температура теплоагента, $T$	302 К +/- 1 К	Контроль, регулювання, сигналізація





надходить на датчик-реле тиску ДЕМ 102 (поз. 1-2), звідки сигнал надходить на контур сигналізації та захисту.

2. Наявність обертів вала мішалки (контур справності роботи двигуна) – по місцю встановлюється датчик тахогенератора ДТГ-2 (поз. 6-1), сигнал з якого надходить на контролювальний показувальний пристрій ТЭ-Д (поз. 6-2), далі сигнал надходить на датчик-реле ДТ-100 (поз. 6-3), звідки сигнал надходить на контур сигналізації та захисту.

## 5.2 Автоматичне регулювання

В ферментаторі під час 2-го етапу (процесу завантаження ферментера) регулюються такі параметри:

1. Витрата засівного матеріалу – на трубопроводі встановлена діафрагма ДКС0,6-200 (поз. 2-1), далі сигнал надходить на перетворювач тиску 13ДИ30 (поз. 2-2), після сигнал надходить на нормувальний перетворювач «Сапфир-22ДД» (мод.2450) (поз. 2-3), де сигнал перетворюється в уніфікований вихідний сигнал і надходить на вторинний показувальний та реєструвальний прилад ДИСК-250 (поз. 2-4), потім сигнал надходить на вимірювально-регулюючий пристрій РП4-Т (поз. 2-5), і далі сигнал надходить на станцію керування БУ12 (поз. 2-6), яка в автоматичному режимі подає сигнал регулятора через безконтактний пускач ПБР-3А (поз. 2-7), де підсилюється і надходить на електричний виконавчий механізм МЭО-6,3/12,5-0,25-99 (поз. 2-8), що переміщує клапан на трубопроводі, змінюючи тим самим величину витрати засівного матеріалу.

Під час 3-го етапу (процесу культивування міцеліальних грибів) такі параметри, як витрата стерильного живильного середовища (прилади 4-п) та повітря (прилади 3-п), регулюються аналогічно пункту 1 під час 2-го етапу.

4. Температура середовища в апараті – підтримується за рахунок подачі теплоагента в оболонку апарата. По місцю встановлюється хромель-копелева безінерційна термopapa типу ТСП-1288 (поз. 5-1), з якої сигнал надходить на показувальний прилад ТАМ-103 (поз. 5-2) для контролю температури, що

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлений по місцю, далі сигнал надходить на нормувальний перетворювач «Сапфир-22ДД» (мод. 2450) (поз. 5-3), де сигнал перетворюється в уніфікований вихідний сигнал і надходить на вторинний показувальний і реєструвальний прилад ДИСК-250 (поз. 5-4). Далі сигнал надходить на регулятор РП4-Т (поз. 5-5), в якому створюється керуючий вплив, і далі сигнал надходить на станцію керування БУ12 (поз. 5-6), яка в автоматичному режимі подає сигнал регулятора через безконтактний пускач ПБР-3А (поз. 5-7), де сигнал підсилюється і надходить на електричний виконавчий механізм МЭО-6,3/12,5-0,25-99 (поз. 5-8), що перекриває клапан подачі води в оболонку апарата.

Під час 4-го етапу (процесу вивантаження ферментатора) регулюються такі параметри, як витрата культуральної рідини (прилади 7-п) аналогічно, як в пункті 1 під час 2-го етапу.

### 5.3 Сигналізація, блокування, захист

В даній схемі забезпечується чітка технологічна сигналізація, що передбачає уникнення аварій чи нещасних випадків.

У випадку аварійної ситуації під час другого етапу технологічного процесу: сигнал надходить на станцію керування БУ12 (поз. 2-6), далі сигнал йде на пускач безконтактний ПБР-3А (поз. 2-7), що підсилює сигнал і подає його на електричний виконавчий механізм МЭО-6,3/12,5-0,25-99 (поз. 2-8), що перекриває подачу інокуляту у ферментер.

У випадку аварійної ситуації під час третього етапу: сигнал надходить на станції керування БУ12 (поз. 3-6), далі сигнал йде на пускачі безконтактні ПБР-3А (поз. 3-7), що підсилюють сигнали і подають їх на електричний виконавчий механізм МЭО-6,3/12,5-0,25-99 (поз. 3-8), що перекриває подачу повітря та води в оболонку. Також, сигнал надходить на блок керування БРУ-5 (поз. 9-1), далі сигнал йде на пускач безконтактний ПБР-3А (поз. 9-2), що підсилює сигнал і подає його на виконавчі механізми, який вимикає двигун мішалки (позначка М – електричний привід).

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При виникненні аварійної ситуації, після припинення подачі середовища та інокуляту до ферментера, виконується аварійний злив вмісту ферментера, що забезпечується таким чином: від контуру захисту сигнал надходить на станцію керування БУ12 (поз. 7-6), далі на безконтактний пускач ПБР-3А (поз. 7-7) і на електричний виконавчий механізм МЭО-6,3/12,5-0,25-99 (поз. 7-8).

Схема технологічної сигналізації забезпечує подачу світлового сигналу на панель оператора за допомогою набору сигнальних ламп HL1 – HL4. Світлові сигнали показують про працездатність установки оператора, а саме сигналізують нормальний режим тиску в апараті та задану частоту обертання вала мішалки.

Наявність світла на світловій сигналізації контуру регулювання тиску (лампочки HL1, HL2) свідчать про те, що тиск в апараті є допустимий і апарат працює в заданому режимі.

Наявність світла на світловій сигналізації контуру контролю двигуна мішалки (лампочки HL3, HL4) свідчать про те, що двигун працює в заданому режимі.

Датчик-реле тиску РД-301 (поз. 6-2) та показуючий прилад частоти обертання мішалки ДТГ-2 (поз. 6-1) зв'язані зі звуковою сигналізацією НА, що спрацьовує у разі невідповідності тиску у апараті або частоти обертання мішалки.

#### 5.4 Дистанційне керування

Дистанційне керування електричними виконавчими механізмами МЭО-6,3/12,5-0,25-99 (поз. 2-8, 3-8, 4-8, 7-8) здійснюється за допомогою включення ручного управління станцій керування БУ12 (поз. 2-6, 3-6, 4-6, 7-6), звідки сигнали поступають на безконтактні пускачі ПБР-3А (поз. 2-7, 3-7, 4-7, 7-7), де сигнали підсилюються і подаються на вищеперераховані виконавчі механізми.

Також, здійснюється дистанційне керування двигуном мішалки, за рахунок увімкнення ручного керування блоку керування БРУ-5 (поз. 9-1), далі сигнал йде на пускач безконтактний ПБР-3А (поз.9-2), де сигнал підсилюється і надходить на двигун (позначка М – електричний привід).

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5.5 Специфікація устаткування, виробів і матеріалів

Специфікацію приладів та засобів автоматизації приведено в таблиці 8, Додаток А.

## 5.6 Висновок

Успішно розроблена система автоматизації основних показників перебігу процесу культивування міцеліальних грибів на чотирьох часових етапах: пусковий етап, процес завантаження інокуляту та живильного середовища, культивування грибів та вивантаження культуральної рідини з біомасою з ферментеру. Автоматично контролюється подача інокуляту, поживного середовища та повітря, а також витрата при спорожненні ферментера. Температура у ферментері регулюється зміною подачі теплоагента у сорочку апарату. Також розроблена система передбачає попередження аварій, пов'язаних з відхиленнями тиску в апараті та кількості оборотів мішалки від заданих шляхом світлової та звукової сигналізації. Автоматизація забезпечує контроль процесу відповідно до технології та дозволяє обробку точних даних показуючих пристроїв, що підвищує ефективність управління виробництвом.

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

## Розділ 6. Економічна частина

### 6.1 Техніко-економічне обґрунтування

На сьогоднішній день гостро стоїть питання забезпечення населення та різних сфер народного господарства паливними ресурсами. Великий процент транспорту, що використовується в Україні, заправляється дизельним паливом. На ринку існує біодизель з рапсу, що є безпечнішим та екологічнішим за аналог з викопного палива, але у нього є ряд недоліків:

- виробництво потребує використання великої кількості посівних площ;
- сама технічна культура дуже виснажує ґрунт;
- рапс - сезонна сировина, що потребує належного зберігання у спеціальних приміщеннях та детального планування обсягів виробництва на рік.

Вирішенням проблем біодизелю з рапсу є заміна джерела ліпідів для реакції переестерифікації, а саме застосування продуцентів ліпідів – олеагенних міцеліальних грибів виду *Cunninghamella japonica*.

Отже в даній магістерській дисертації наведена технологія отримання біодизеля на основі ліпідів міцеліальних грибів. Конкурентними перевагами розробленої технології є використання інноваційної сировини для виготовлення біодизеля, а саме швидкозростаючий мікроорганізмів, звільнення посівних площ, були призначені для вирощування технічних олійних культур, локалізація виробництва сировини на одному підприємстві з виробництва готової продукції, запровадження контрольованого процесу культивування шляхом автоматизації роботи ферментера, незалежність виробництва від погодних умов та врожаю, відсутність потреби в елеваторах для зберігання ріпакового насіння, використання побічних продуктів як біодобавок та відходів як добрива.

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

## 6.2 Розрахунок ефективності фонду робочого часу

Підприємство працюватиме в безперервному режимі протягом всього календарного року – 365 днів по 24 години, тоді ефективний фонд робочого часу  $T_{\text{еф}}$  становить:

$$T_{\text{еф}} = 365 \cdot 24 = 8760 \text{ год/рік.}$$

Проте безпосередньо на випуск продукції виділено 335 днів на рік. Інші 30 днів протягом року виділені на забезпечення належних умов виробництва, тобто проводиться очистка і технічний огляд обладнання, оновлення культури міцеліальних грибів, плановий та позаплановий ремонт обладнання.

Основні характеристики режиму роботи підприємства, а також річний фонд робочого часу наведено в таблиці 9.

Таблиця 9. Річний фонд робочого часу підприємства

№	Показник	Норма робочого часу
1	Календарний фонд робочого часу підприємства, діб	365
2	Тривалість робочого дня підприємства, год	24
3	Календарний фонд робочого часу підприємства, год	8760
4	Час простою у планово-попереджувальних ремонтах протягом року, год	720
5	Річний фонд робочого часу підприємства, год	8040

### 6.3 Розрахунок та побудова графіка технічного обслуговування і ремонту обладнання

Система технічного обслуговування і ремонту обладнання (ТОРО) містить капітальні, середні та поточні ремонти, крім того, передбачає технологічний огляд та інші види міжремонтного обслуговування технологічного обладнання.

Виходячи з паспортних даних обраного типу обладнання та дійсних міжремонтних нормативів, розраховуємо час роботи обладнання між ремонтами, час простою, кількість ремонтів та складаємо графік ТОРО, представлений у таблиці 10.

Приймаємо тривалість простою обладнання під час ремонту: капітальний ремонт – 120 год, середній – 24 год, поточний – 6 год.

Відповідно, час роботи між капітальними ремонтами – 8640 год, час роботи між середніми ремонтами – 1725 год, між поточними ремонтами – 500 год.

Для кожного виду кількість ремонтів складає:

- Кількість капітальних ремонтів розраховуємо за формулою:

$$a_k = \frac{T_{\text{еф}} - 120}{t'_k} = \frac{8760 - 120}{8640} = 1$$

де  $t'_k$  - час між двома капітальними ремонтами.

- Кількість середніх ремонтів:

$$a_c = \frac{T_{\text{еф}} - 24}{t'_c} - a_k = \frac{8760 - 24}{1725} - 1 = 4$$

де  $t'_c$  - час між двома середніми ремонтами.

- Кількість поточних ремонтів:

$$a_n = \frac{T_{\text{еф}} - 6}{t'_n} - a_k - a_c = \frac{8760 - 6}{500} - 1 - 4 = 12$$

де  $t'_n$  - час між двома поточними ремонтами.

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 10. Графік ТОРО технологічного обладнання.

Обладнання	Вид ремонту, тривалість простою, год			Кількість ремонтів протягом календарного місяця за видом ремонтів												Тривалість простою в ремонтах, год/рік	Ефективний фонд робочого часу обладнання, год/рік
	К 1	С 4	П 12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Виробнича лінія	120	96	72	П	П С	П	П	П С	П	П К	П	П С	П	П С	П	288	8472



## 6.4 Розрахунок виробничої потужності

Згідно з невеликих об'ємів підприємства та нової на ринку технології отримання ліпідів пропонується проект виробництва біодизель в обсязі 100 000 л на рік.

Тривалість виготовлення партії, виходячи з найдовшої стадії виробництва, а саме культивування міцеліальних грибів у ферментері, становить 4 доби.

При безперервному режимі роботи підприємства, враховуючи 30 днів на зупинки, ремонти, очищення обладнання і т.д. та партійність виробництва, проектна продуктивність праці підприємства:

$$Q_{\text{Пр}} = \frac{V}{T} = \frac{100\,000}{335} \cdot 4 = 1194 \text{ л/партію,}$$

де  $Q_{\text{Пр}}$  – проектна продуктивність праці підприємства,  $V$  – загальна запланована потужність підприємства на рік,  $T$  – тривалість календарного року.

Для ферментерів номінальним об'ємом 11,2 м<sup>3</sup>, що використовуються на виробництві при обраному режимі роботи партійна продуктивність складає 6,7 м<sup>3</sup> культуральної рідини на партію.

Концентрація міцелію у культуральній рідині становить 25 г/л, тому партійна продуктивність обладнання по сухому міцелію складає 162 кг/добу. Густина біодизелю складає 830 кг/м<sup>3</sup> і при перерахунку на масову продуктивність отримаємо значення 120,5 л на партію. Отже планова кількість одиниць обладнання складатиме:

$$n = \frac{Q_{\text{Пр}}}{Q_{\text{Ф}}} = \frac{1194}{120,5} = 9,9 \approx 10$$

де  $n$  – кількість одиниць обладнання, од;  $Q_{\text{Пр}}$  – проектна продуктивність праці підприємства, л/партію;  $Q_{\text{Ф}}$  – партійна продуктивність одної одиниці обладнання (ферментеру), л/партію.

Отже, для забезпечення проектної продуктивності необхідно встановити десять паралельно працюючих ферментерів номінальним об'ємом 11,2 м<sup>3</sup> кожний.

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 6.5 Розрахунок собівартості продукту і вартості проекту

### 6.5.1 Розрахунок амортизаційних витрат та вартості основних фондів

До капітальних витрат на будівництво нового підприємства входять:

- будівництво виробничого цеху;
- будівництво адміністративної будівлі;
- придбання обладнання, його монтаж та будівництво комунікацій.

Витрати на будівництво та амортизація основних фондів наведена у таблиці 11.

Таблиця 11. Витрати на будівництво і амортизація.

Назва	Кількість одиниць для обладнання	Вартість, грн	Термін експлуатації, років	Ліквідаційна вартість, грн	Амортизація грн/рік
Виробничий цех		5 500 000	20	3 500 000	100 000
Адміністратив на будівля		2 000 000	20	1 000 000	50 000
Обладнання					
Термостат	1	300 000	10	70 000	23 000
Автоклав	1	150 000	10	40 000	11 000
Ферментер	10	5 000 000	20	1 500 000	175 000
Ліофільна сушарка	1	1 000 000	10	200 000	80 000
Установка для надкритичної екстракції	1	1 500 000	10	300 000	120 000
Дозатор	2	20 000	10	5 000	1 500
Насос	2	40 000	10	10 000	3 000
Подрібнювач сировини	1	200 000	10	40 000	16 000
Реактор	6	2 400 000	20	600 000	90 000
Вимірювальні прилади (термомтри, ротаметри і т.д.)	-	50 000	5	5 000	9 000
Допоміжне обладнання (теплообмінники, фільтри, збирачі і т.д.)	-	1 500 000	10	300 000	120 000
<b>Всього</b>		<b>12160000</b>	<b>Всього</b>		<b>648 500</b>

Інвентар цеху і офісне обладнання оцінюється в 200 000 грн. З терміном експлуатації 5 років і ліквідаційною вартістю 10 000 грн амортизація складає 38 000 грн. Вартість нематеріальних активів складає 100 000 грн з амортизацією 10 000 грн.

Загальна вартість основних фондів:

$$\text{ОФ} = 12\,160\,000 + 200\,000 + 100\,000 = 12\,460\,000 \text{ грн.}$$

Амортизація основних фондів складає:

$$A = 648\,500 + 38\,000 + 10\,000 = 696\,500 \text{ грн.}$$

### 6.5.2 Розрахунок витрат на сировини, матеріалів та електроенергії

Використовуючи впроваджену на підприємстві технологію на виробництво 100 кг (120,5 л) біодизелю витрачається: 328,25 кг глюкози; 7,88 кг нітрату амонію; 5,66 кг дигідрофосфату калію; 5,66 дріжджового екстракту; 15 кг спирту; 10 м<sup>3</sup> води.

Враховуючи річну продуктивність 100 000 л біодизелю на рік, річні витрати на сировину, матеріали і електроенергію наведені в таблиці 12.

Таблиця 12. Витрати на сировину та матеріали

Сировина та матеріали	Витрати на рік	Ціна за од	Сума, грн.
Глюкоза	275,5 т	22 грн/кг	6 061 000
Нітрат амонію	6,5 т	9 грн/кг	58 500
Дигідрофосфат калію	4,7 т	44 грн/кг	206 800
Дріжджовий екстракт	4,7 т	56 грн/кг	263 200
Спирт	12,45 т	30 грн/кг	373 500
Технологічна вода	8 300 м <sup>3</sup>	20 грн/м <sup>3</sup>	166 000
Електроенергія	840 000 кВт·год	3 грн/кВт·год	2 520 000
<b>Всього</b>			<b>9 648 500</b>

### 6.5.3 Розрахунок заробітної плати та експлуатаційних витрат

Підприємство працює 24 год на добу і 7 днів на тиждень впродовж всього року. Передбачено 30 днів в рік планових зупинок, зупинок на ремонт та ін. Для офісних працівників, водіїв, вантажників режим роботи: 5 днів на тиждень, робочий день 8 год, вихідні дні – субота, неділя.

Виробничий персонал складається з 4 бригад, що працюють у 3 зміни по 8 год кожна. На підприємстві максимально використані засоби автоматизації виробництва і 1 бригада складається з 10 осіб. Отже, явочна кількість виробничого персоналу на кожній зміні складає 10 осіб.

Явочна кількість персоналу, що працює в 1 зміну (керівників, офісних працівників, водіїв, вантажників, прибиральників і т.д.) складає 15 осіб.

Чисельність персоналу за списком складає 55 осіб.

Таблиця 13. Графік змінності підприємства

Дні / № бригади	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	...
Бр.1	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3	В	В	...
Бр.2	В	2	2	2	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1	1	1	...
Бр.3	2	В	3	3	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2	2	2	...
Бр.4	3	3	В	В	1	1	1	1	В	2	2	2	2	В	3	3	...
Інший персонал	1	1	1	1	1	В	В	1	1	1	1	1	В	В	1	1	...

Розрахунок заробітної плати персоналу наведено у таблиці 14.

Заробітна плата всім працівникам за рік складе 533 500 грн. Нарахування на заробітну плату складають 117 370 грн.

Експлуатаційні витрати становлять 100 000 грн на рік і складаються з:

- витрати на заробітну плату персоналу, що проводить ремонт будівель чи обладнання;

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

- витрати на допоміжні матеріали, електроенергію, воду, що необхідні для ремонту;
- закупівлю нового інвентаря чи інструментів, що швидко зношуються;
- витрати на утримання цехової і адміністративної будівлі;
- витрати на утримання території.

Таблиця 14. Розрахунок заробітної платні

Умовний відділ (група)	Посада	К-ть, осіб	ЗП працівника на місяць, грн.	Всього за місяць, грн.
Невиробничий персонал	Працівник відділу постачання	2	11 000	22 000
Персонал з питань виробництва	Головний технолог	1	15 000	15 000
	Інженер з охорони праці та автоматизації	2	12 000	24 000
	Керівник бригади	4	13 000	52 000
	Інженер-механік	8	10 000	80 000
	Завідуючий лабораторії	1	13 000	13 000
	Біотехнолог	8	10 000	80 000
	Апаратник	16	9 500	152 000
	Лаборант	4	9 000	36 000
Допоміжний персонал	Прибиральник	2	5 000	10 000
	Охорона	3	8 500	25 500
	Вантажник	4	8 000	24 000
<b>Всього за місяць</b>				<b>533 500</b>

Загальна вартість оборотних фондів:

$$\text{Обз} = 9\,648\,500 + 533\,500 + 117\,370 + 100\,000 = 9\,919\,220 \text{ грн/рік.}$$

#### 6.5.4 Розрахунок собівартості продукції

З урахуванням планової потужності виробництва біодизеля, що становить 100 000 л/рік собівартість продукту розраховується у таблиці 15.

Таблиця 15. Розрахунок собівартості продукції

Стаття калькуляції	Витрати на річну програму грн/рік	Витрати на 1 л продукції грн/л
Сировина, матеріали, електроенергія та ремонт	9 748 500	97,5
Амортизація	696 500	7
Заробітна плата	533 500	5,3
Нарахування на з/п	117 370	1,2
<b>Собівартість</b>	<b>11 095 870</b>	<b>111</b>

### 6.6 Розрахунок ефективності виробництва

Розрахунок капіталовкладень:

$$K = OF + O\text{бз} = 12\,460\,000 + 9\,919\,220 = 22\,379\,220 \text{ грн}$$

Таблиця 16. Техніко-економічні показники підприємства

№	Показник	Одиниці виміру	Планові значення
1	Річний випуск продукції	л	100 000
2	Чисельність персоналу за списком: - виробничий персонал - адміністративний персонал	осіб	55 40 15
3	Середньорічний виробіток робітника	л/особу	1 818
4	Капіталовкладення у проект: - всього - на одиницю продукції	грн грн/од	22 379 220 223,8
5	Вартість виробничих фондів: - основних - оборотних	грн	12 460 000 9 919 220
6	Собівартість на одиницю продукції	грн/л	111
7	Ринкова ціна продукту	грн/л	150
8	Прибуток на одиницю продукції	грн/од	39
9	Рентабельність продукту	грн/грн	0,32
10	Термін повернення капіталовкладень	рік	5,7
11	Фондовіддача виробничих фондів	грн/грн	1,2
12	Фондомісткість	грн/грн	0,83
13	Коефіцієнт економічної ефективності	$E = 1/T_{\text{пов}}$	0,116

## Розділ 7. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Підвищення технічної оснащеності сучасних підприємств, застосування нових матеріалів, конструкцій і процесів, підвищення швидкостей і потужностей машин впливають на характер і частоту нещасних випадків і захворювань на виробництві. Автоматизація виробництва зменшила затрати праці на одиницю продукції, однак з'явився ряд проблем, пов'язаних з підвищенням нервово-психічного навантаження на операторів, і т.п.

Закон «Про охорону праці» зобов'язує роботодавця створити задовільні умови на кожному робочому місці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити дотримання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці [33].

Охорона праці й поліпшення умов праці є одним з найважливіших завдань на сьогоднішній день. Безпечне ведення технологічного процесу знижує можливість травматизму, підвищує працездатність обслуговуючого персоналу.

Установки повинні мати конструкцію, компоновку устаткування і трубопроводів, які забезпечують умови роботи обслуговуючого персоналу відповідно до діючих норм техніки безпеки і ергономіки.

На персонал впливають такі фактори як: можливість ураження електричним струмом, шум, вміст газових домішок у повітрі, які можуть привести до вибуху та отруєння, біологічне ураження продуцетом.

Основні фактори:

- 1) виробничий шум і вібрації;
- 2) повітря робочої зони;
- 3) електронебезпека;
- 4) пожежна та вибухонебезпека;

Найбільш часті причини аварій посудин, що працюють під тиском, це невідповідність конструкції максимально допустимому тиску і температурі; втрата механічної міцності апарата (корозія, внутрішні дефекти металу, місцеві перегріву); невиконання встановленого режиму роботи; недостатня кваліфікація обслуговуючого персоналу; відсутність належного технічного нагляду.

Вимоги безпеки, що пред'являються до конструкції, виготовлення, та експлуатації посудин, що працюють під тиском, визначені «Правилами будови і безпечної експлуатації посудин, що працюють під тиском».

### 7.1 Рівень шуму та вібрацій

Приміщення, в якому розміщена лінія - закритого типу. Основними джерелами шуму при роботі є вали, що обертаються, електродвигуни, компресори та інше устаткування в яких шум досягає 90 дБА. Згідно норм ДСН 3.3.6.037-99 шум, при роботі, не повинен перевищувати 80 дБА [34].

Заходи та матеріали, що застосовуються задля зниження шуму механічного походження включають:

- використання облицювального шумоізоляційного матеріалу з перфоруванням;
- звукоізоляція устаткування за допомогою глушників, резонаторів, кожухів, захисних конструкцій, тощо;
- звукоізоляція дверного проїому приміщення, покриття стін та підлоги;
- своєчасне змащування всіх поверхонь, що труться;
- застосування раціональних конструкцій, нових матеріалів і технологічних процесів.

Ці заходи дозволяють знизити рівень шуму до прийнятного згідно ДСН 3.3.6.037-99 [34].

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 7.2 Повітря робочої зони

Вентиляційна система має забезпечити виведення пилу з приміщення і доведення якості повітря до встановлених норм. Для індивідуального захисту працівників від летючих подразників застосовують респіратори, протигази, захисні костюми.

Аеродинамічні випробування вентиляційних систем проводять не рідше одного разу на рік, а також після кожного капітального ремонту або реконструкції.

Якщо вентиляційна система не забезпечує нормальних умов і чистоти повітря у приміщеннях, то застосовують систему кондиціонування повітря.

Необхідно забезпечити захист працівників від елементів устаткування, нагрітих до високих температур і теплового випромінювання яке не повинно перевищувати  $q = 350 \text{ Вт/м}^2$ . Апарати повинні мати теплоізоляцію з мінеральної вати товщиною від 10 см, що забезпечить прийнятну температуру на поверхні барабана і теплове випромінювання відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 [35].

Перед запуском технологічних апаратів необхідно провести промивку і продувку всіх комунікацій і устаткування, перевірити їх герметичність. Всі насоси, завантажувальні пристрої та інші механізми і машини перевіряють без навантаження і під навантаженням на інертних середовищах.

Приміщення обладнанні стендами з зазначеними правилами техніки безпеки, правилами з експлуатації установки, стендами з планом евакуаційних виходів. Перед початком робіт працівники повинні проходити інструктаж з техніки безпеки.

					БЕ 71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

### 7.3 Електробезпека

Приміщення операторної згідно ПУЕ-2017 відноситься до приміщень із підвищеною небезпекою, тому що можливий одночасний дотик людини до з'єднаних під землею технологічних апаратів і металевих корпусів електроустаткування [36].

Основні причини нещасного випадку від впливу електричного струму наступні:

- випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмопровідних частин, що перебувають під напругою;
- поява напруги на конструктивних металевих частинах електроустаткування - корпусах, кожухах - у результаті ушкодження ізоляції й інших причин;
- виникнення крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання дроту на землю.

Щоб уникнути нещасних випадків застосовується захисне занулення із глухо-заземленою нейтраллю. Щоб уникнути ураження від статичної електрики, тому що приміщення категорійне, робиться сітка з металевих пластин перетином  $25 \times 4$  мм, що розташовується по периметру приміщення, і до якої приєднують мідним дротом  $S = 10 \text{ мм}^2$  металеві частини апаратів й устаткування, які перебувають у цьому приміщенні.

Для забезпечення безпечної роботи з електроустаткуванням – кабелі та дроти вкладені в труби й заховані під підлогу, рубильники ввімкнення закриті в спеціальні шафи, при роботі з електроінструментами застосовуються індивідуальні засоби захисту.

У зв'язку з вищевикладеним пропонується дотримуватися наступних правил техніки безпеки й проводити наступний комплекс заходів щодо забезпечення електробезпечності на проєктованій ділянці:

1. Для запобігання небезпеки ураження електричним струмом, устаткування повинне мати надійний металевий зв'язок корпусів електродвигунів, щитів, постів електроапаратури і сталевих труб електропроводки із заземлювальним контуром.

					БЕ 71мн.065152.007 МД	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. При експлуатації електроустаткування необхідно дотримуватися наступних правил безпечної роботи:

- забороняється доторкатися до електропроводів, робити ремонт електроустаткування, знімати й установлювати електролампи, запобіжники й інші деталі електроустаткування особам, які не мають права допуску;
- входити в розподільну щитову, відкривати електрозбірки, входити в місця, де висять таблички «Вхід заборонений», «Небезпечно для життя» й інші попереджувальні написи. Вхід дозволяється чітко обмеженому колу людей з дотриманням правил про допуск;
- для переносного освітлення користуватися лампами напругою не більше 12 В;
- перед проведенням ремонтних робіт на встаткуванні лінії електродвигуни повинні бути зупинені, знеструмлені й від'єднані від приводів, на пускових кнопках повинні бути вивішені плакати «Не вмикати, працюють люди». Відключення електроенергії проводиться електриком;
- відповідальний електрик за електрогосподарство лінії систематично перевіряє відповідність заземлення устаткування правилам технічної експлуатації, особливо після його ремонту;
- установлення плакатів і знаків безпеки (показано на рисунку 13);



Рисунок 13. Приклади попереджувальних знаків.

– при роботі з електроінструментом ( $U \leq 42\text{В}$ ), застосовуються індивідуальні захисні засоби, такі як діелектричні рукавички і калоші, гумові килимки, ізольовані підставки.

					БЕ 71мн.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

Живильні кабелі прокладаються в броньованій оболонці. В аварійному режимі застосовується пристрій занулення та захисне автовідключення.

#### 7.4 Пожежна безпека

На лінії виробництва біодизеля горючими речовинами є: біодизеля, етиловий спирт та мастило, яким змазуються обертові частини конструкції.

Пожежні характеристики небезпечних речовин, матеріалів:

Мастило:

Температура займання 300°C;

температура самозаймання 370°C.

Біодизель:

Температура займання 285°C;

температура самозаймання 320°C.

Етиловий спирт:

Температура займання 13°C;

температура самозаймання 404°C.

Біодизель є вибухонебезпечним матеріалом, відноситься до горючих матеріалів, тому технологічний процес утилізації біодизеля відноситься до категорії В (ДСТУ Б В.1.1-36:2016) [37].

Згідно ПУЕ клас зони установки П-Па (зони, розташовані в приміщеннях, в яких зберігаються горючі речовини).

Цех в якому знаходиться установка виробництва біодизеля будується з використанням негорючих матеріалів (бетона, залізобетона), тому стійкість споруди за ДБН В.1.1-7-2002 відповідає ступеню вогнестійкості II [38].

Серед причин, що можуть викликати спалахування, найбільш імовірними є такі:

- несправність електроустаткування;
- струми короткого замикання і навантаження кабелів живлення;
- спалах ізоляції електропроводки;

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- використання вогню в неналежному місці.

Запобігання спалахування забезпечується такими методами:

- дотриманням технологічних норм і правил експлуатації;
- обмеження в застосуванні відкритого вогню;
- палінням тільки у відведених для цього місцях;
- своєчасним проведенням інструктажу з техніки безпеки серед обслуговуючого персоналу;
- організацією агітації по протипожежній безпеці;
- наявністю засобів сигналізації, зокрема, системи електричної пожежної сигналізації (ЕПС) і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною;
- наявністю засобів пожежогасіння в безпосередній близькості від установки (пісок, ковдри, вогнегасники).

В разі виникнення пожежі встановлені датчики-сповіщувачі, які спрацьовують при підвищенні температури до 89°C.

Для гасіння невеликих ділянок загорання при виключеному та включеному (до 1000В) електроустаткуванні застосовують вуглекислотні вогнегасники ОУ-5 (2 шт.) та порошкові ОП-10 (2 шт.). Як стаціонарні засоби пожежогасіння встановлені самоспрацьовуючі вогнегасники САМ-9 (25 шт.).

У приміщенні, де розташовується установка, на відстані 30 метрів одне від одного встановлені пожежні гідранти з рукавами довжиною до 10 метрів. Відстань до пожежного виходу не більше 40 метрів.

Відповідно до ДБН В.1.1-7-2002 кількість виходів - не менше двох. Ширина дверей евакуаційного виходу - 2 метри. Двері евакуаційного виходу відкриваються на зовні [38].

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7.5 Рекомендації з техніки безпеки

1. Робота установки допускається при наявності в цеху вентиляції і пристроїв для видалення і нейтралізації шкідливих речовин.
2. Перед початком роботи установки необхідно перевірити наявність усіх заземлень та справність усіх вузлів і механізмів;
3. Шафу керування приводом закрити.
4. Температура нагрівання зовнішніх поверхонь корпусу, доступних дотику з людиною повинна бути не більше 45°C.
5. Підходи до електроприводів, пульта і шаф звільнити.
6. Працювати необхідно в спецодязі.
7. У зв'язку з опортуністичними властивостями продуценту, не допускати до роботи людей з імунними захворюваннями.
8. На випадок можливого самозаймання необхідно мати засоби гасіння.
9. Рівень шуму, вимірюваний при роботі машини, не має перевищувати 75 Дб на частоті 1000 Гц.
10. Під час роботи лінії категорично заборонено:
  - проводити ремонтні роботи;
  - опускати руки в бункер-дозатор;
  - знімати огороження з обертових частин.

Відповідно до закону про охорону праці і національної програми по охороні праці, виробничі будівлі, споруди, устаткування, технологічні процеси відповідають вимогам, що забезпечують безпечні умови праці.

Адміністрації підприємств зобов'язані забезпечити належним технологічним устаткуванням усі робочі місця і створити на них умови роботи відповідно правилам по охороні праці.

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 7.6 Охорона навколишнього середовища

Заміна агресивних і канцерогенних екстракторів ліпідів з біомаси, таких як формальдегід в суміші з метанолом, на систему надкритичної екстракції значно зменшує антропогенне навантаження на навколишнє середовище і попереджає можливий викид забруднюючих речовин. До того ж, CO<sub>2</sub> у системі можна використовувати повторно за наявності обладнання з очистки та зрідження газу.

Застосування біодизеля в традиційних дизельних двигунах значно знижує викиди в атмосферу вуглеводнів, оксиду вуглецю, сульфатів, ароматичних вуглеводнів і твердих частинок в порівнянні з нафтопродуктами. Крім того, і це особливо важливо, використання біодизеля скорочує кількість викидів в атмосферу токсичних і канцерогенних речовин. Використання чистого біодизеля (100%) може знизити ризик ракових захворювань на 94%. Суміш, що складається з 20% біодизеля і 80% звичайного дизеля (В 20), зменшує ризик ракових захворювань на 27%. Завдяки тому, що біодизель не містить сірки, при його спалюванні в атмосферу не надходить діоксид сірки. А високий вміст в біодизелі кисню сприяє більш повному спалюванню CO<sub>2</sub>. Крім того, у викидах скорочується вміст вуглецю в формі твердих частинок. У порівнянні з "виробним" дизелем, при спалюванні чистого біодизеля обсяги викидів в атмосферу діоксиду вуглецю зменшуються більш ніж на 75%, а при спалюванні 20% біодизеля - на 15%.

Таблиця 17. Викиди в атмосферу при спалюванні чистого біодизеля [24].

	Співвідношення викидів для біодизеля і дизеля
Монооксид вуглецю	- 45%
Вуглеводні	- 56%
Тверді частинки	- 55%
Оксиди азоту	+ 5%
Мутагенність	- 80% – 90%

Сільськогосподарські машини можуть працювати на біодизелі, що відразу ж приведе до поліпшення екології. Крім того, при витоку біодизеля ніякої шкоди навколишньому середовищу нанесено не буде, адже при попаданні в ґрунт або воду за 28 днів відбувається розкладання 99% біодизеля під дією мікроорганізмів.

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

## Висновки

Шляхом літературного пошуку підібрано та охарактеризовано мікроорганізм-продуцент *Cunninghamella japonica*, що має найбільшу продуктивність за комплексом показників серед представників класів *Zygomycetes*, *Ascomycetes*, *Basidiomycetes*: накопичення біомаси – 19,16 г/дм<sup>3</sup>, вміст ліпідів у сухому міцелію – 50,7%. Також проаналізовано готовий продукт на відповідність європейському стандарту EN 14214. За такими показниками якості, як йодне число – 91, цитанове число – 56 та питома теплота згоряння – 38 МДж/кг, біодизельне паливо на основі ліпідів міцеліальних грибів повністю задовольняє міжнародні норми з якості.

Обрано та наведено оптимальну технологію отримання ліпідів міцеліальних грибів шляхом культивування на модифікованому середовищі Гудвіна з ліофільним висушуванням міцелію та надкритичною екстракцією ліпідів флюїдним CO<sub>2</sub>. Ця технологія комбінується з низькотемпературною або холодною переестерифікацією суміші ліпідів етиловим спиртом з використанням КОН, як каталізатора, з подальшим промиванням продукту для видалення продуктів омилення та «висушуванням» біодизеля.

Розраховано та запроектовано ферментер з номінальним об'ємом 11,2 м<sup>3</sup> при коефіцієнті заповнення 0,6, лопатевою мішалкою зі швидкістю перемішування 1 об/с та системою автоматизації процесу культивування міцеліальних грибів. Система автоматизації передбачає автоматичне керування завантаженням та зливом культуральної рідини з ферментера, а також дистанційне керування основних параметрів процесу.

Наведено техніко-економічну доцільність технології та розраховано собівартість продукції, що становить 111 грн/дм<sup>3</sup>, і може бути зменшена за рахунок подальшого удосконалення технології, використання біодизеля як

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72



паливного компонента або запровадження технології на вже існуючому виробництві.

Проведено аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які пов’язані з виробництвом продукту, експлуатацією установок та запропоновано заходи щодо обмеження їх дії. Надано інформацію щодо захисту навколишнього середовища при виробництві та використанні біодизеля на основі ліпідів міцеліальних грибів.

					<i>БЕ71мп.065152.007 МД</i>	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### Список використаної літератури:

1. *Ивашечкин А.А.* «Липиды мицелиальных грибов как основа для создания биодизельного топлива» // Москва, 2015. – 142 с.
2. *Stahl P.D.* «Characterization and differentiation of filamentous fungi based on fatty acid composition» / Stahl P.D., Klug M.J. // Appl. Environ. Microbiol., v.62, No.11. – p. 4136-4146.
3. *Meng X.* «Biodiesel production from oleaginous microorganisms» / Meng X., Yang J., Xu X., Zhang L., Nie Q., Xian M. // Renewable Energy, v.34, 2009. – p.1-5.
4. *Ratledge C.* «Lipid and fatty acids, Primary products of metabolism» // NY-London, 1978. – p.263-296.
5. *Сергеева Я.Э.* «Липиды мицелиальных грибов как основа для получения биодизельного топлива» / Сергеева Я.Э., Галанина Л.А., Андриянова Д.А., Феофилова Е.П. // Прикладная биохимия и микробиология, 2008, т.44, №5. – с.1-6.
6. *Підоплічко Н.М.* «Атлас мукоральних грибів» / Підоплічко Н.М., Мілько А.А. // Київ: «Наукова думка», 1971. – 187 с.
7. *Белякова Г.А.* «Водоросли и грибы: учебник для студ. высш. учеб. заведений» Ботаника в 4 т. Т.1 / Белякова Г.А., Дьяков Ю.Т., Тарасов К.Л. //М.: Издательский центр “Академия”, 2006. – 320 с.
8. *Krawczyk T.* «Biodiesel – alternative fuel makes inroads but hurdles remain» // INFORM, v.7, 1996. – p. 801-829.
9. *Дебабов В.Г.* «Биотопливо» // Биотехнология, 2008, №1. – с. 3-14.
10. *Василов Р.Г.* «Перспективы развития производства биотоплива в России. Сообщение 1: биодизель» // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова, Т. 3, № 1, 2007. – с. 47–54.
11. *Ляшко Ф.Е.* «Альтернативные источники энергии. Биодизель» / Ф.Е. Ляшко, Е.Б. Уланов // «Проблемы машиностроения и автоматизации» № 2, 2009. – с. 84-91.
12. *Knothe G.H.* «The Biodiesel Handbook» / Eds. G. Knothe, J.V. Gerpen, J.Krahl // Illinois: AOCS Press, 2005.

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

13. Школьников В.М. ред. «Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Справочник» // «Техинформ», 1999.
14. Разанов С.Ф. «Порівняльний аналіз викидів забруднюючих речовин у повітря традиційними енергоносіями та різними видами біопалива» // С.Ф. Разанов, О.П. Ткачук // «Сільське господарство та лісництво. Екологія та охорона навколишнього середовища» №1, 2015. – с. 152-160.
15. «Mycology Guidebook» // Seattle and London: University of Washington press. 1974. – p. 94-97.
16. Webster John «Introduction to Fungi» // Cambridge: Cambridge university press, 1980. – p. 230.
17. L.O. Donnell «Zygomycetes in Culture» // University of Georgia, 1979. – p. 236.
18. Zhang, Sean X. «Cunninghamella echinulata causing fatally invasive fungal sinusitis» // *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 76 (4), 2013. – p. 506–509.
19. Domsch «Compendium of Soil Fungi. Vol I.» / Domsch, Gams, Heidi-Anderson, Traute // Academic Press, 1980. – p. 238.
20. Freitag D.G. «Stereoselective metabolism of rac-mexiletine by the fungus Cunninghamella echinulata yields the major human metabolites hydroxymethylmexiletine and p-hydroxymexiletine» / Freitag D. G; Foster R. T; Coutts R. T; Pickard M. A; Pasutto F. M // *Drug Metab Dispos.* 25 (6), 1997. – p. 685–692.
21. «Справочник технолога-машиностроителя» Т. 1 и 2. Под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. // М.: Машиностроение, 1985-1986. - 823 с.
22. Сидоров Ю.І. «Процеси і апарати мікробіологічної промисловості. Технологічні розрахунки. Приклади і задачі. Основи проектування виробництв» Навч. Посібник. Уз.ч. – Ч.1. Ферментація. / Сидоров Ю.І., Влязло Р.Й., Новіков В.П. // Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. – 240 с.
23. Соколов В.Н. «Аппаратура микробиологической промышленности» / Соколов В.Н., Яблоков М.А. // Л.: Машиностроение. Ленинград, 1988. – 278 с.

					БЕ71мн.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

24. «Біодизель». Режим доступу: <http://rea.org.ua/dieret/Fuels/biodiesel.html>

25. Богдан В.И. «Получение метиловых эфиров жирных кислот – основы биодизельного топлива – из липидов мицелиальных грибов, экстрагированных сверхкритическим CO<sub>2</sub>» / Богдан В.И., Коклин А.Е., Красовский В.Г., Лунин В.В., Сергеева Я.Э., Ивашечкин А.А., Феофилова Е.П. // Сверхкритические флюиды: теория и практика, Т.8, №4, 2013 – с. 46-52.

26. Сергеева Я.Э. «Липиды мицелиальных грибов как основа для получения биодизельного топлива» / Сергеева Я.Э., Галанина Л.А., Андрианова Д.А., Феофилова Е.П. // М.: Прикладная биохимия и микробиология, том 44, №5, 2008. – с. 576-581.

27. Ткачевская Е.П. «Микробные липиды как энергетические ресурсы» / Ткачевская Е.П., Конова И.В., Галанина Л.А., Сергеева Я.Э. // М.: Современные наукоемкие технологии, №1, 2005. – с. 19-20.

28. Сергеева Я.Э., Ивашечкин А.А., Алехин А.И., Андриянова Д.А., Мысякина И.С., Гальченко В.Ф., Галанина Л.А., Феофилова Е.П., Лунин В.В., Патент на изобретение RUS 2468077 Способ получения липидов 11.02.2011.

29. Касьянов Г.И. «Техника и технология использования диоксида углерода в суб – и сверхкритическом состоянии» // Вестник ВГУИТ, №1, 2014. – с.130-135.

30. ГОСТ 21.404-85 Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Обозначения условные приборов и средств автоматизации в схемах. Режим доступу: <http://vsegost.com/Catalog/11/110.shtml>

31. Сафонов В.В. «Інженерні рішення з охорони праці при розробці дипломних проектів інженерних спеціальностей» // К.: Основа, 2000. – 336 с.

32. Підлісна О.А. Методичні вказівки до курсу «Основи підприємництва» для студентів хіміко-інженерних, хіміко-технологічних та біо-технологічних спеціальностей усіх форм навчання (бізнес-планування) / Уклад.: О.А. Підлісна, В.В. Янковий, М.П. Дорошенко // К.: 2004. – 48 с.

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

33. Закон «Про охорону праці». Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>

34. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». Режим доступу: <http://arm.te.ua/docs/DSN-3.3.6.037-99.pdf>

35. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>

36. Правила улаштування електроустановок, 2017р. Режим доступу: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/06/%D0%9F%D0%A3%D0%95.pdf>

37. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою». Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=65419](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65419)

38. ДБН В.1.1-7-2002 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги». Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=68456](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=68456)

					БЕ71мп.065152.007 МД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Таблиця 8. Специфікація приладів та засобів автоматизації.

№ позиції на схемі	Найменування параметра	Місце встановлення	Найменування та характеристика	Тип моделі	Кіл.
1	2	3	4	5	6
1-1	Тиск	По місцю	Прилад для контролю тиску показуючий, манометр	САФІР-М, мод. 2440	1
1-2	Тиск	По місцю	Датчик-реле тиску	ДЕМ 102	1
2-1 3-1 4-1 7-1	Витрата	По місцю	Звужувальні пристрої	ДКС0,6 – 200	4
2-2 3-2 4-2 7-2	Витрата	По місцю	Перетворювачі тиску	13ДИ30	4
2-3 3-3 4-3 7-3	Витрата	На щиті	Нормуючий перетворювач	Сапфир-22ДД мод. 2450	4
2-4 3-4 4-4 7-4	Витрата	На щиті	Вторинний показуючий та реєструючий прилад	ДИСК-250	4
2-5 3-5 4-5 7-5	Витрата	На щиті	Регулюючий блок	РП4-Т	4
2-6 3-6 4-6 7-6	Витрата	На щиті	Станція керування	БУ-12	4
2-7 3-7 4-7 7-7	Витрата	По місцю	Безконтактний реверсійний пускач	ПБР-3А	4
2-8 3-8 4-8 7-8	Витрата	По місцю	Електричний виконавчий механізм	МЭО-6,3/12,5-0,25-99	1
			БЕ71мп.065152.007 МД		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Арк.
					78

5-1	Температура	По місцю	Термопара хромель-копелева безінерційна	ТСП-1288	1
5-2	Температура	По місцю	Прилад для контролю температури показуючий	ТАМ-103	1
5-3	Температура	На щиті	Нормуючий перетворювач	Сапфир-22ДД мод. 2450	1
5-4	Температура	На щиті	Вторинний показуючий та реєструючий прилад	ДИСК-250	1
5-5	Температура	На щиті	Регулюючий блок	РП4-Т	1
5-6	Температура	На щиті	Станція керування	БУ-12	1
5-7	Температура	По місцю	Магнітний пускач	ПБР-3А	1
5-8	Температура	По місцю	Електричний виконавчий механізм	МЭО-6,3/12,5-0,25-99	1
6-1	Частота обертання вала мішалки	По місцю	Датчик тахогенератора	ДТГ-2	1
6-2	Частота обертання вала мішалки	По місцю	Прилад для контролю частоти обертання, показуючий	ТЭ-Д	1
6-3	Частота обертання вала мішалки	По місцю	Датчик-реле	ДТ-100	1
8-1	Захист	На щиті	Блок керування	БРУ-5	1
8-2	Захист	На щиті	Магнітний пускач	ПБР-3А	1
НЛ	Сигналізація	На щиті	Сигнальна лампа	ЛС-3	4
НА	Сигналізація	На щиті	Звуковий сигналізатор	ДЗЕ-8	1